

**DISEÑO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUA A PARTIR DEL USO DE ENERGÍA SOLAR EN EL
CARMEN DE BOLÍVAR**

POR

MARÍA CLAUDIA CHAMORRO MÁRQUEZ

LAURA VANESSA ROLONG RODRIGUEZ

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO CIVIL Y AMBIENTAL
BARRANQUILLA
2018**

**DISEÑO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUA A PARTIR DEL USO DE ENERGÍA SOLAR EN EL
CARMEN DE BOLÍVAR**

POR

MARÍA CLAUDIA CHAMORRO MÁRQUEZ

LAURA VANESSA ROLONG RODRIGUEZ

ASESOR

Ing. ARMANDO ENRIQUE FONTALVO LASCANO

PARA OTORGAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO CIVIL Y AMBIENTAL
BARRANQUILLA
2018**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, Atlántico

Agradecimientos

A Dios, por su guía y acompañamiento en el transcurso de la carrera, por brindarme una vida llena de aprendizaje y experiencias significativas. A mis padres, Kattia Márquez y Edwin Chamorro por su apoyo incondicional, por darme la oportunidad de estudiar una carrera profesional y por todos los valores que me inculcaron para ser la persona que soy. A mis abuelos, por ser mi ejemplo de perseverancia y enseñarme a no abandonar el camino por más difícil que sea. A Katty Chamorro, Tatiana Chamorro, Cristian González por ser un apoyo en mi vida y en mi carrera y enseñarme el valor de la familia y la lucha constante. A mis tutores, Armando Fontalvo y Rubén Cantero por su orientación y dedicación en este proceso y por todos los conocimientos brindados. A mi compañera de tesis, porque juntas hemos sido un gran equipo en este proceso y logramos aprender una de la otra.

- María Claudia Chamorro Márquez.

Agradecimientos

Agradecer principalmente a Dios, porque sin Él, no habría sido posible. Agradecer especialmente a mis padres, Nelsy Rodríguez Castellar y Jorge Rolong Jiménez, y a toda familia, que siempre me apoyó en mis estudios y mi carrera profesional. A mis tutores, Armando Fontalvo Lascano y Rubén Cantero Rodelo, que, con sus conocimientos y dedicación, siempre fueron de gran ayuda para finalizar este proyecto. A todos los profesores que durante mi carrera profesional me ayudaron a crecer tanto profesional como personalmente. A Stiven Gamero Jiménez, y todos mis amigos y compañeros que siempre me apoyaron a seguir adelante y me ayudaron de una u otra manera en este proyecto. A mi compañera de tesis, María Chamorro Márquez que siempre fue de gran apoyo y ayuda, y juntas logramos culminar nuestros estudios profesionales y este proyecto.

- Laura Vanessa Rolong Rodríguez

Resumen

La escasez de agua potable y de saneamiento es la causa principal de enfermedades en el mundo. En 2002, el 42% de los hogares carecía de retretes y una de cada seis personas no tenía acceso a agua potable. En los países en vías de desarrollo, más del 90% de las muertes por diarrea a causa de agua no potable y la falta de higiene se producen en niños y niñas menores de cinco años. El aumento de la población, el incremento en el consumo de agua y una mayor demanda de agua –debido sobre todo a la industrialización y la urbanización– están mermando los recursos hídricos en todo el mundo. Los conflictos en muchas partes del mundo amenazan también el acceso de los niños al agua potable. UNICEF (2008). Unas temperaturas más cálidas, el aumento en los niveles del mar, una frecuencia cada mayor de inundaciones y sequías, y el derretimiento de hielo, afectan de manera conjunta la calidad y disponibilidad del agua, así como de los sistemas de saneamiento. A causa de esta escasez de agua, que tienen muchas comunidades y que un futuro podríamos tener todos, se busca diseñar un sistema de tratamiento de agua en el municipio de El Carmen de Bolívar que esté enfocado en definir el sistema de potabilización más adecuado para este municipio y que esté alimentado con energía solar con el fin de reducir gastos y controlar impactos ambientales respecto al ahorro de energía y brindar una fuente de agua estable para estas comunidades y que la puedan utilizar como sustento. Por ello, el presente trabajo de tesis propone procesos para optimizar el sistema de tratamiento para el tipo de agua que se encuentra en este municipio de Bolívar, con un bajo costo energético, y con el fin de que este proyecto sea rentable a implementar en el municipio del Carmen de Bolívar.

Palabras clave: Agua potable, escasez, tratamiento, saneamiento, industrialización, energía solar, ahorro energético, bajo costo.

Abstract

The shortage of drinking water and sanitation is the main cause of diseases in the world. In 2002, 42% of households lacked toilets and one in six people did not have access to potable water. In developing countries, more than 90% of deaths from diarrhea due to unsafe water and lack of hygiene occur in children under five years of age. The increase of the population, the increase in the consumption of water and a greater demand of water - due mainly to the industrialization and the urbanization - are diminishing the hydric resources in all the world. Conflicts in many parts of the world also threaten children's access to safe drinking water. UNICEF (2008). Warmer temperatures, rising sea levels, an increasing frequency of floods and droughts, and melting ice together affect the quality and availability of water, as well as sanitation systems. Because of this water shortage, which many communities have and that a future could have all, it is required to design a water treatment system in the municipality of El Carmen de Bolívar that is focused on defining the most appropriate water treatment system for the type of water in this municipality and that is powered by solar energy in order to reduce costs and control environmental impacts regarding energy savings and provide a stable source of water for these communities and that they can use as sustenance. Therefore, the present thesis proposes processes to optimize the treatment system for the type of water found in this municipality of Bolívar, with a low energy cost, to make this project profitable to be implemented in the Carmen municipality of Bolívar.

Keywords: Drinking water, scarcity, treatment, sanitation, industrialization, solar energy, energy saving, low cost.

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	11
Resumen	6
Abstract.....	7
Contenido	8
Tablas.....	11
Figuras.....	13
Introducción.....	14
1. Planteamiento del problema	15
1.1. Descripción del problema.....	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4. Justificación.....	17
1.5. Delimitaciones.....	18
1.5.1. Delimitación temporal.	18
1.5.2. Delimitación espacial.....	18
1.6. Estado del arte	19
Marco referencial.....	21
1.7. Antecedentes	21
1.7.1. Antecedentes internacionales.....	21
1.7.2. Antecedentes nacionales.....	22
1.8. Marco teórico	22
1.8.1. Tipos de métodos de ablandamiento del agua.	25
1.8.2. Remoción de sales disueltas	27

1.8.3. Filtro.....	28
1.8.4. Desinfección	29
1.8.5. Energía solar y paneles fotovoltaicos	30
1.8.6. Dimensionamiento del sistema energético	36
1.8.7. Evaluación financiera.....	38
1.8.8. Costos de instalación.....	40
1.8.9. Parámetros de evaluación económica	41
1.9. Sistemas propuestos para el tratamiento de agua	42
1.9.1. Sistema de ablandamiento	43
1.9.2. Sistema de filtración	44
1.9.3. Sistema de desinfección	45
1.10. Dimensionamiento del sistema de tratamiento.....	46
1.10.1. Población futura	46
1.10.2. Dotaciones	48
1.10.3. Pérdidas técnicas	50
1.10.4. Calculo demanda de agua.....	50
1.10.5. Captación	53
1.10.6. Potencia de la bomba.....	55
1.11. Formulación de Hipótesis.....	56
1.12. Marco geográfico	57
1.13. Marco legal.....	60
1.14. Autoridad ambiental	61
2. Marco metodológico.....	63
2.1. Diseño metodológico.....	63
2.1.1. Fase 1.....	63
2.1.2. Fase 2.....	66
2.1.3. Fase 3.....	67

3.	Resultados.....	69
3.1.	Caracterización de la fuente hídrica	69
3.2.	Dimensionamiento del sistema de tratamiento.....	70
3.2.1.	Selección de los procesos de tratamiento	70
3.2.2.	Calculo de población futura	71
3.2.3.	Calculo de las dotaciones.....	71
3.2.4.	Caudal de diseño.....	71
3.2.5.	Captación	72
3.2.6.	Potencia de la bomba	72
3.2.7.	Dimensionamiento del sistema.....	73
3.3.	Dimensionamiento del sistema de alimentación energética.....	74
3.3.1.	Coordenadas y datos del proyecto.	74
3.3.2.	Determinación de la declinación solar mensual.....	75
3.3.3.	Cálculo inclinación óptima mensual.....	76
3.3.4.	Determinación de la radiación global sobre la superficie inclinada del panel. 76	
3.3.5.	Factor de irradiancia	77
3.3.6.	Consumo diario.....	78
3.3.7.	Cabeza de bomba	79
3.4.	Evaluación financiera	82
3.4.1.	Inversión en activos Fijos	82
3.4.2.	Costos de instalación.....	84
3.5.	Parámetros de evaluación económica	86
4.	Discusión de resultados	93
5.	Conclusiones.....	94
6.	Recomendaciones	96
	Referencias	97
	Anexos.....	104
	Anexo 1.....	104

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. Potencial de la energía solar en Colombia por regiones. Energía Fotovoltaica	32
Tabla 2. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.....	49
Tabla 3. Coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , según el Nivel de Complejidad del Sistema.....	51
Tabla 4. Coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , según el nivel de complejidad del sistema y el tipo de red de distribución.....	52
Tabla 5. Caudales de diseño.....	53
Tabla 6. Caracterización inicial de la muestra.....	69
Tabla 7. Resultados cálculos demanda de agua.....	72
Tabla 8. Cálculos de pérdidas por fricción y potencia de la bomba.....	73
Tabla 9. Datos de Ubicación del proyecto.....	75
Tabla 10. Declinación solar mensual.....	75
Tabla 11. Inclinación optima solar.....	76
Tabla 12. Valores de radiación global horizontal y radiación global para el ángulo óptimo para la ubicación del proyecto. NREL-NASA (2017).....	77
Tabla 13. Factor de irradiancia y horas solares pico (HSP) por día.....	78
Tabla 14. Consumo energético diario.....	79
Tabla 15. Dimensionamiento del campo fotovoltaico	81
Tabla 16 Información kit seleccionado.....	82
Tabla 17 Costo de los componentes del sistema de tratamiento de agua.....	83

Tabla 18. Costo de instalación.....	85
Tabla 19. Estado de resultado para la primera etapa del proyecto.....	88
Tabla 20. Caja para la primera etapa del proyecto.....	88
Tabla 21. Estado de resultado para la segunda etapa del proyecto.....	89
Tabla 22. Flujos de caja para la segunda etapa del proyecto.....	90

Figuras

Figura 1 Sistema fotovoltaico de 3.4 kWp del Oleoducto Caño Limón - Coveñas. En operación desde hace más de 20 años.....	31
Figura 2 El funcionamiento de una célula fotovoltaica básica.....	33
Figura 3 Múltiples módulos.....	34
Figura 4 Diagrama de una célula solar de silicio cristalino típico.....	35
Figura 5 Sistema de tratamiento.....	44
Figura 6 Filtro multimedia.....	44
Figura 7 Pipetas de cloro gaseoso conectadas al tanque de desinfección.....	45
Figura 8 Ubicación municipio de El Carmen de Bolívar.....	58
Figura 9 Ubicación viviendas sin servicio de agua en el Carmen de Bolívar.....	59
Figura 10 Ecorregiones de Cardique.....	61
Figura 11 Población futura y demanda de agua.....	65
Figura 12 Captación y potencia de la bomba.....	66
Figura 13 Cálculos dimensionamiento del sistema energético.....	67
Figura 14 Parámetros de evaluación económica.....	68
Figura 15 Sistema de tratamiento.....	70
Figura 16 Diseño del sistema propuesto.....	74
Figura 17 Cabeza de la bomba vs caudal del sistema.....	80

Introducción

De acuerdo a la ONU cerca de 1200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación; esta escasez es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano. La escasez de agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI (Veintiuno) al que se enfrentan numerosas sociedades alrededor del mundo, y que a lo largo del último siglo el consumo y el uso de agua creció a un ritmo acelerado duplicando el de la tasa de crecimiento de la población. ONU (2014)

Colombia, por ser un país que se encuentra en vía al desarrollo, aún cuenta con una gran escasez de agua en los lugares con bajo estrato social y/o de bajos recursos. Sobre todo, en las áreas rurales, se presentan estas falencias con respecto al servicio del agua potable. Por lo que la población se ve en la obligación de tomar el agua directamente de los ríos, lagunas, pozos, entre otros. Esto causa a su vez, enfermedades en las comunidades, debido a que el agua se ve alterada por las actividades antrópicas que realizamos nosotros los seres humanos diariamente y algunos cuerpos de agua no poseen las condiciones aptas para el consumo del ser humano, y deben ser tratadas previamente al consumo.

El proyecto se centra principalmente al problema de la escasez del recurso importante que es el agua, mediante un diseño más eficiente con energía solar para poder tratar el agua subterránea que entre sus características principales se encuentra con minerales provenientes de las rocas, entre otras palabras es considerada “agua dura”, se realizará una evaluación financiera para poder analizar si es viable o no y así poder implementar este tipo de proyectos, en áreas rurales, como lo es El Carmen de Bolívar.

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

En zonas rurales del municipio del Carmen de Bolívar, algunas viviendas no disponen de acceso al servicio de agua potable, sino que se surten del líquido mediante pozos de los cuales extraen el agua para uso doméstico. Ante esta problemática, la integración de los sistemas de potabilización con fuentes renovables de energía se perfila como una alternativa de solución atractiva en zonas con facilidad de obtención de recursos hídricos y deficiencias en el suministro de energía eléctrica. Para ello se hace necesario un sistema que permita potabilizar el agua con el uso del abundante recurso solar de la región, con el fin de brindar un óptimo servicio de agua potable a un porcentaje de la comunidad del Carmen de Bolívar.

El diseño de este tipo de sistemas implica la consideración de distintas tecnologías tratamiento de agua, la evaluación y selección de la más adecuada desde un punto de vista técnico, económico, ambiental y de seguridad, y su integración con la fuente energética. Además, una vez seleccionada la tecnología de potabilización, se necesita dimensionar los equipos a utilizar de tal manera que se maximice la capacidad del sistema, se minimice el consumo de energía y se maximice la eficiencia. Finalmente, se evaluará la rentabilidad del mismo evaluando parámetros financieros como la tasa interna de retorno (TIR) y el tiempo de recuperación de la inversión.

1.2. Formulación del problema

La idea investigativa surge de la necesidad de un sistema de tratamiento para “agua dura” en el municipio de El Carmen de Bolívar, la cual es utilizada mayormente por las comunidades de bajo estrato, que no cuentan con el servicio de agua potable, por lo que se ven obligados al consumo de esta misma, generando problemas de salud debido a la alta concentración de dureza que esta presenta. Es por esto que se decide implementar un sistema tratamiento para poder brindar el servicio de agua potable a un porcentaje de esta comunidad, a través del uso de energía solar, con miras a buscar una solución a esta problemática de una forma rentable.

Desde este punto de vista el presente trabajo de grado pretende dar respuesta al siguiente interrogante: *¿Cuál es la tecnología y configuración del sistema de tratamiento de agua que maximiza la producción de agua potable de forma rentable y con el mínimo consumo energético de una fuente de energía solar?*

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

Diseñar un sistema de tratamiento de agua alimentado por una fuente de energía solar para producción de agua potable a un porcentaje de la población de El Carmen de Bolívar.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Seleccionar la tecnología y la configuración adecuada para el tratamiento de agua integrando este con la fuente energética de acuerdo con las características de la fuente hídrica y el porcentaje de la población a la que se le suministrara agua.
- Determinar las dimensiones del sistema de tratamiento de agua que maximicen la capacidad del sistema y minimicen el consumo energético.
- Determinar la rentabilidad del sistema de tratamiento de agua mediante el cálculo de parámetros financieros como la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación de la inversión.

1.4. Justificación

A través de los años los recursos hídricos han ido disminuyendo debido al uso inadecuado y a la contaminación de los mismos, generando de esta manera incertidumbre por su acceso en un futuro, es por ello que se deben comenzar a generar estrategias que eviten esto. Por otra parte, existe agua como la de El Carmen de Bolívar que puede ser recuperada con el tratamiento adecuado, y logrando los menores costos posibles en su implementación.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Colombia es el séptimo país con mayor disponibilidad de recursos hídricos, a pesar de la afectación de algunas de sus fuentes hídricas naturales; ejemplo de

estas son los pozos artesanales ubicados en El Carmen de Bolívar que debido a su suelo tiene la particularidad de que sus aguas contengan gran concentración de dureza.

La investigación se justifica a partir de las posibilidades que existen para evitar afectaciones de salud en la población y el desperdicio de agua en la población, empleando el tratamiento de agua con energía solar, evaluando la rentabilidad del mismo. Todo esto con el fin de proteger este recurso debido a la importancia que tiene en nuestras vidas y la de todas las especies vivas. Optar por energías alternativas es una de las estrategias más beneficiosas tanto para la población como para el ambiente, es por tal razón que este proyecto de investigación busca generar una alternativa de solución para un porcentaje de la comunidad de El Carmen de Bolívar correspondiente al estrato número 3 que no cuenta con el servicio de agua potable.

1.5. Delimitaciones

1.5.1. Delimitación temporal.

El presente proyecto de investigación se desarrolló en un período de 12 meses, el cual inició en mayo del 2017 y finalizó en marzo del 2018.

1.5.2. Delimitación espacial.

El proyecto de investigación se desarrolló en el departamento de Bolívar, específicamente en el municipio de El Carmen de Bolívar.

Las muestras de agua para el proceso de diseño se tomaron de una vivienda ubicada en la carrera 54 con Calle 26 esquina, lugar donde se encuentra ubicado un pozo artesanal

de agua subterránea, del cual la comunidad toma para usos domésticos a pesar de que no se encuentra apta para el consumo humano.

1.6. Estado del arte

De acuerdo con las investigaciones que se realizaron, se encontraron algunos proyectos que se han realizado anteriormente por parte de estudiantes universitarios. Tanto a nivel global como local, es visible la necesidad de implementar alternativas, para que las zonas donde existe mayor escasez de agua o donde no cuentan con el fácil acceso al agua potable, puedan contar con esta misma.

Los habitantes del municipio de El Carmen de Bolívar adaptaron su estilo de vida, sus organismos y sus viviendas a la ausencia de un acueducto. La lluvia no siempre fue constante y en situaciones de sequía era necesario recurrir a municipios vecinos para abastecerse de agua potable, pero quienes no tenían la facilidad económica para adquirir el agua se dotaban de pozos de agua dura que tenían algunas viviendas del municipio. A continuación, se citan las investigaciones más relevantes que se indagaron.

En 2014, Daniel Chavarro de la Universidad Militar Nueva Granada, ubicada en Bogotá, Colombia, diseñó una planta de tratamiento de agua potable de 2 L/s para una población de 750 habitantes, constituida por un sistema de aireación, un sistema de coagulación, un sistema de floculación, un sedimentador, un sistema de filtrado y tanque de almacenamiento. La planta puede ser utilizada para el tratamiento de aguas subterráneas o superficiales. El caudal de alimentación tiene una tasa máxima de 2.0 L/S. Dada la problemática que en Colombia más del 85% de los municipios de Colombia no tienen disponibilidad adecuada de agua potable. El proyecto beneficia a todas aquellas

poblaciones marginales en áreas rurales conformadas hasta por 750 habitantes. Chavarro (2014)

En 2013, Heryulimar Gil de la Universidad Rafael Urdaneta ubicada en Maracaibo, Venezuela, realizó la propuesta de una planta de tratamiento para el consumo de la comunidad “El cobre” del estado de Táchira con las especificaciones necesarias para la desinfección del agua almacenada que se utiliza como agua de consumo. Esta propuesta surge debido a la problemática que se presenta por la presencia de coliformes totales y fecales presentes en el agua de las quebradas ubicadas en esta zona, la cual es tomada y almacenada sin ser tratada para la distribución a esta comunidad el Cobre, ya que no cuentan con una planta de tratamiento por carecer de un diseño de la misma, generando así enfermedades de transmisión hídrica, afectando principalmente a la población infantil. Gil (2013)

En 2017, Kelvin Baron y José Hurtado, de la Universidad de Lambayeque ubicada en Chiclayo, Perú, presentaron la propuesta de un sistema de tratamiento físico-químico de las aguas subterráneas del Parque Residencial Puertas del Sol, Distrito de la Victoria-Chiclayo. Para su uso como agua potable. *“Los problemas físico-químicos del agua generan efectos negativos en la salud y además trae consigo muchas molestias y averías a sus electrodomésticos, tuberías, accesorios de cocina y baño ya que los minerales presentes en el agua generan incrustaciones y su pobre rendimiento con el jabón o detergentes provocado por los minerales como el calcio, magnesio y sodio cortan al jabón generando molestias para las amas del hogar o trabajadoras domésticas, en comparación con el agua blanda que favorece la espuma.”* Baron, Hurtado (2017)

Marco referencial

1.7. Antecedentes

Para la investigación se tomaron de base algunas investigaciones internacionales y nacionales enfocadas en el diseño de sistemas de ablandamiento de agua. A continuación, se presentan algunas de ellas.

1.7.1. Antecedentes internacionales.

Investigación realizada por Luis Cervantes de la Universidad Politécnica Salesiana – Quito (2015), el cual diseño un ablandador de agua empleando resinas de intercambio iónico, de bajo costo y operación, capaz de eliminar la dureza del agua con el fin de ser utilizada en una caldera a vapor que se encuentra ubicada en la Universidad. El quipo logró proporcionar dos galones por minuto con un valor de dureza de cero granos por galón, con lo cual supero el rango de dureza planteado inicialmente.

En Santiago de Chile, Marzo Neira (2010) realizó investigación con el objetivo de estudiar los impactos y medidas de mitigación de la dureza del agua de Chile, para tal estudio se revisaron los antecedentes de la calidad de las aguas de consumo humano a nivel nacional relacionado con la dureza de las aguas y su impacto en la salud humana y en las diferentes actividades económicas del país.

1.7.2. Antecedentes nacionales.

De acuerdo a la investigación realizada por Jesús Ramos de la Universidad Militar Nueva Granada – Bogotá (2010) sobre la caracterización química del agua del río Bogotá, se concluyó que el agua de este río tiene altos contenidos de dureza y se estudia los distintos tratamientos que se le pueden aplicar para que el agua sea apta para consumo humano, debido a que si es consumida de esta forma puede traer consecuencias para la salud.

Con estas investigaciones se aclara cada vez más el panorama del agua en Colombia y la necesidad de controlar su consumo y darle el uso necesario, porque a pesar de ser un país rico en este recurso no se le está dando la importancia que este requiere.

1.8. Marco teórico

El agua es una sustancia química natural abundante (que también puede denominarse sustancia o compuesto) y consiste en moléculas de H_2O . Es un compuesto inorgánico simple que representa aproximadamente el 55-60% de la masa corporal de los seres humanos adultos delgados y se encuentra en todo el cuerpo humano donde ocupa la mayor parte del volumen de muchos de los fluidos del cuerpo, las células y por lo tanto los tejidos formados por tales células. El agua tiene importantes funciones en la química, bioquímica y biología debido a sus diversas propiedades (es decir, la forma en que se comporta). IvyRose Holistic (2015). Es un recurso fundamental para la seguridad alimentaria (agua de lluvia e irrigación), la salud humana, la producción de energía, la

productividad industrial, la biodiversidad y prácticamente todas las actividades que apoyan la prosperidad y la resiliencia. World Water Council (2016)

Cuando la lluvia cae al suelo, parte de ella fluye a lo largo de la superficie de la tierra a arroyos, ríos o lagos, para algunos hidrata el suelo. Parte de esta agua es utilizada por la vegetación; pero algunos cuerpos de agua formados se evaporan y vuelven a la atmósfera. Una parte del agua también penetra en el suelo, fluye a través de la zona no saturada y alcanza la capa freática, que es una superficie imaginaria desde donde el suelo debajo está saturado.

El último es el agua subterránea: toda el agua que se encuentra debajo de la superficie del suelo en la zona saturada. Las aguas subterráneas representan alrededor del 30% del agua dulce del mundo. Del otro 70%, casi el 69% es capturado en las capas de hielo y nieve de montaña / glaciares y sólo el 1% se encuentra en los ríos y lagos. Las aguas subterráneas cuentan en promedio un tercio del agua dulce consumida por los seres humanos, pero en algunas partes del mundo, este porcentaje puede alcanzar hasta el 100%. El agua subterránea es un recurso natural muy importante y tiene un papel significativo en la economía siendo la principal fuente de agua para el riego y la industria alimentaria. En general, el agua subterránea es una fuente confiable de agua para la agricultura y puede utilizarse de manera flexible: cuando está seco y hay una demanda mayor, se puede extraer más agua subterránea y cuando la lluvia satisface las necesidades, será necesario extraer menos agua subterránea.

Para el medio ambiente, el agua subterránea desempeña un papel muy importante para mantener el nivel del agua y fluir hacia los ríos, lagos y humedales. Especialmente

durante los meses más secos, cuando hay poca recarga directa de la lluvia, proporciona al medio ambiente el flujo de agua subterránea a través del fondo de estos cuerpos de agua y se convierte en esencial para la vida silvestre y las plantas que viven en estos ambientes. Las aguas subterráneas también desempeñan un papel muy importante en la navegación sostenible a través de las aguas continentales en las estaciones más secas. Al descargar el agua subterránea en los ríos ayuda a mantener los niveles de agua más altos. IGRAC (2001).

Los sistemas de agua que utilizan el agua subterránea como fuente se refieren a la dureza del agua, ya que a medida que el agua se mueve a través del suelo y la roca disuelve pequeñas cantidades de minerales naturales y los lleva al suministro de agua subterránea. El agua es un gran disolvente para el calcio y el magnesio, así que, si los minerales están presentes en el suelo alrededor de un pozo de suministro de agua, el agua dura puede ser entregada a los hogares. La simple definición de la dureza del agua es la cantidad de calcio y magnesio disueltos en el agua. El agua dura es alta en minerales disueltos, tanto de calcio como de magnesio.

La dureza es una propiedad del agua que no es un problema de salud ya que, los seres humanos necesitan minerales para mantenerse sanos, y The National Research Council (National Academy of Sciences) afirma que el agua potable dura generalmente contribuye una pequeña cantidad hacia el calcio total y las necesidades de la dieta humana de magnesio., pero puede ser una molestia. El agua dura puede causar la acumulación de minerales en plomería, accesorios y calentadores de agua, y el desempeño deficiente de jabones y detergentes. USGS (2015)

Por otra parte, el agua blanda es básicamente aquella que tiene una cantidad mínima de minerales causantes de la dureza del agua, magnesio y calcio, la fuente principal de esta es la lluvia; el agua de lluvia generalmente se recoge de los tejados y luego se almacena en tanques. A veces también puede obtenerse de cuencas de drenaje específicas que están formadas por rocas duras impermeables que carecen de calcio y puede despacharse con burbujas de agua.

También se obtiene agua blanda a partir de agua dura. Esto es a través de un método llamado ablandamiento del agua. El agua obtenida a través de este proceso se refiere entonces usualmente como agua suavizada. Aunque carece de iones de magnesio y calcio significativos, puede contener altos niveles de sodio y iones bicarbonato. Marín (2004)

Como ya se ha dicho, esto es simplemente el proceso de eliminar los iones magnesio y calcio del agua. El proceso ayuda a deshacerse de los problemas causados por el agua dura, especialmente en el hogar. Ya que hay diferentes métodos eficientes utilizados para llevar a cabo este proceso en casa, voy a tomar a través de ellos.

1.8.1. Tipos de métodos de ablandamiento del agua.

1.8.1.1. Intercambio iónico

El intercambio iónico es el método más antiguo y común de suavizado de agua. Generalmente, implica el intercambio del ion del magnesio y del calcio contenido en agua dura para los iones de sodio. Puesto que cada ion de calcio y magnesio tiene una carga positiva de 2, cada ion se intercambia por dos iones de sodio.

Los iones de sodio provienen principalmente de una solución de salmuera, con el desplazamiento de sodio teniendo lugar debido a la carga más potente de magnesio y calcio. Por lo tanto, el intercambio libera agua de iones libres de magnesio y de calcio, haciendo el agua suave. Carbotecnia (2014)

1.8.1.2. Destilación

La destilación es un método que funciona tanto como un medio de purificación de agua como un método de ablandamiento de agua. Implica calentar el agua en un recipiente hasta que comience a vaporizarse. El agua en estado gaseoso se dirige luego a otro recipiente donde se puede enfriar y licuar una vez más.

Tiene la ventaja de ser barato. También elimina de forma efectiva los minerales de calcio, magnesio y otros contaminantes del agua.

Sin embargo, también tiene sus desventajas. Solo se puede usar para producir pequeñas cantidades de agua para beber, a diferencia del intercambio iónico. El agua blanda producida por destilación también tiene un sabor plano. Es posible que necesite volver a oxigenarlo para mejorar el sabor. Purifier Advisors (2017)

1.8.1.3. Osmosis Inversa (Tecnología de Membrana)

Este es un método eficaz tanto para la purificación del agua como para el ablandamiento del agua. Utiliza una serie de etapas para producir agua altamente purificada. Los iones de calcio y magnesio se eliminan en la cámara de membrana de ósmosis inversa donde se aplica una presión de aproximadamente 35 psi. Solamente las moléculas de agua son capaces de pasar y por lo tanto el producto es generalmente agua

suavizada. El agua no deseada se canaliza generalmente hacia fuera al drenaje y entonces el agua suavizada se puede dirigir a los enfriadores de agua filtrados. Aquafil (2012)

1.8.2. Remoción de sales disueltas

El intercambio iónico es un proceso de separación de iones. Un ion es un átomo o grupo de átomos cargados eléctricamente. Estos iones se clasifican por su intercambio. Los iones cargados positivamente son llamados cationes, ya que estos emigran al cátodo o electrodo negativo. Los iones cargados negativamente son llamados aniones, ya que emigran al ánodo o electrodo positivo en una celda galvánica.

Hay ocho compuestos que generalmente se asocian con el problema de la dureza. Estos compuestos son divididos en dos clasificaciones en relación a su facilidad de remoción. La dureza temporal puede ser causada por bicarbonato de calcio, carbonato de calcio, bicarbonato de magnesio, y puede ser removida mediante la ebullición del agua. La dureza permanente es causada por el cloruro de calcio, sulfato de calcio, sulfato de magnesio, y cloruro de magnesio. Estos compuestos también son llamados dureza no carbonatada. Los problemas de dureza son ocasionados por los cationes calcio y magnesio. Si los cationes de calcio y magnesio son removidos para remplazarlos por cationes de sodio, los problemas de la dureza pueden ser eliminados.

La separación de los iones y el intercambio es lograda por el uso de una columna de resina aniónica insoluble que es mantenida neutra por iones sodio. Al pasar el agua conteniendo los cationes, calcio, y magnesio, por la columna de resina, los cationes de calcio y de magnesio se adhieren a la resina y son reemplazados por cationes de sodio que

tenía la resina. Los cationes de sodio no producen problemas de dureza. Living Water (2016)

1.8.3. Filtro

Filtración es la separación de sólidos suspendidos en un líquido o gas mediante un medio poroso que retiene los sólidos y permite el paso del líquido. Existen distintos mecanismos para filtrar, entre estos están:

- Filtración de lecho profundo. Los sólidos se depositan dentro del medio filtrante.
- Filtración con formación de torta (convencional). Los sólidos se depositan sobre el medio filtrante formando una pasta.
- Filtración por membranas. No hay un depósito de sólidos sobre la membrana, sino una concentración del caldo. La membrana filtra fundamentalmente en la superficie de la misma. Partículas mayores que la porosidad nominal permanecen sobre el filtro, mientras que las partículas más pequeñas pasan el filtro. McCabe (1988)

1.8.3.1. Filtros de bloque de carbono (comprimido y prensado)

La calidad más alta posible es la de masa de carbón de coco carbonizado y activado con vapor caliente. En lugar de gases y adhesivos se vierte la masa en moldes preparada para un proceso horneado. Estos filtros se consideran muy efectivos para la eliminación de un amplio abanico de sustancias perjudiciales del agua.

El carbono es comprimido hasta convertirse en una estructura densa que obliga a cada molécula de agua a traspasar poros microscópicos de un tamaño similar sobre toda la

altura del bloque. Se eliminan todas las sustancias nocivas tales como bacterias, esporas de hongos, legionela, suciedad, plomo y partículas de cal, así como asbesto y otras toxinas. Igualmente se filtran sustancias diluidas tales como metales pesados, cloro, venenos industriales, disolventes y pesticidas.

La tendencia se dirige hacia estos filtros de bloque de carbono, para la limpieza del agua, porque es eficaz, es relativamente económico. Además, se puede combinar muy bien con cualquier tipo de mineralización o vitalización, lo cual es aún más importante que la mayoría de los tratamientos limpieza. Alfaro (2013)

1.8.4. Desinfección

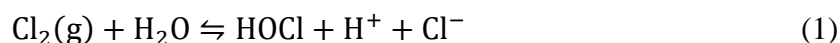
La cloración es el método más común de desinfección de agua. El ácido hipocloroso (HOCl) se disocia reversiblemente en ion hipoclorito (OCl^-), en una proporción que depende del pH del agua. El cloro activo es el conjunto de ambas especies. Es un oxidante que reacciona con muchos otros compuestos. Al adicionarse al agua, primero reacciona con los compuestos inorgánicos presentes en la mayoría de los cuerpos de agua, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el hierro disuelto (Fe^{+2}).

Al seguirse agregando cloro, este reacciona con el amoníaco y la materia orgánica presentes, para formar compuestos organoclorados, como son las cloraminas. Los compuestos recién formados, siguen realizando una acción desinfectante, aunque lenta.

Las reacciones anteriores forman parte de lo que se conoce como “demanda de cloro” del agua en cuestión. Una vez que se satisface esta demanda inicial, al agregar mayor cantidad de cloro, se empezará a acumular un residual de cloro que llevará a cabo el

proceso de desinfección. El punto en el que se satisface la demanda de cloro inicial, se conoce como “punto de ruptura” de cloro. Carbotecnia (2015)

Por otra parte, el cloro gaseoso es cloro en su forma pura. Es almacenado y transportado en cilindros, como gas-licuado. A diferencia del sodio o hipoclorito de calcio, el cloro gaseoso disminuye el pH del agua. La reacción química con el agua se muestra en la ecuación (1).



Ventajas: Desinfectante muy efectivo, reduce el pH del agua de manera que acidificación adicional no es necesario, disolución uniforme y rápida en el agua.

Desventajas: Requiere habilidad y precauciones más estrictas en su manipulación.

1.8.5. Energía solar y paneles fotovoltaicos

La energía solar es una fuente de energía que tiene importantes ventajas sobre otras y para su aprovechamiento, también presenta varias dificultades. Entre sus ventajas se destacan principalmente su naturaleza inagotable, renovable y su utilización libre de polución. Pero, para su utilización, es necesario tener en cuenta su naturaleza intermitente, su variabilidad fuera del control del hombre y su baja densidad de potencia. Estas dificultades conllevan entonces la necesidad de transformarla a otra forma de energía para su almacenamiento y posterior uso. Rodríguez (2010)

Existen diversas formas de aprovechar la energía solar, entre estas la generación de electricidad empleando sistemas fotovoltaicos, los cuales han estado siempre dirigidos al sector rural, en donde los altos costos de generación originados principalmente en el precio

de los combustibles, y los costos de operación y mantenimiento en las distantes zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo y confiable.

La generación de electricidad con energía solar tiene, entonces, enormes perspectivas, teniendo en cuenta que en Colombia cerca de 1 millón de familias carecen del servicio de energía eléctrica en el sector rural, es por tal razón que se han implementado paneles fotovoltaicos en distintas zonas del país. Rodríguez (2008)



Figura 1. Sistema fotovoltaico de 3.4 kWp del Oleoducto Caño Limón - Coveñas. En operación desde hace más de 20 años. Rodríguez (2008)

La evaluación del potencial solar de Colombia se ha realizado empleando principalmente información de estaciones meteorológicas del Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM), procesada para ser transformada de información meteorológica en información energética. Logrando así que se demostrara en el Atlas de Radiación Solar de Colombia, el potencial de energía solar en Colombia.

Tabla 1

Potencial de la energía solar en Colombia por regiones. Energía Fotovoltaica. (H.

Rodríguez, 2008)

REGIÓN DEL PAÍS	RADIACIÓN SOLAR (kWh/m²/año)
Guajira	2 000 - 2 100
Costa Atlántica	1 730 – 2 000
Orinoquía – Amazonía	1 550 – 1 900
Región Andina	1 500 – 1 750
Costa Pacífico	1 450 – 1550

1.8.5.1. Energía Fotovoltaica

El efecto fotoeléctrico fue observado por primera vez por un físico francés, Edmund Bequerel, en 1839, quien descubrió que ciertos materiales producirían pequeñas cantidades de corriente eléctrica cuando se exponen a la luz. En 1905, Albert Einstein describió la naturaleza de la luz y el efecto fotoeléctrico en el que se basa la tecnología fotovoltaica. El primer módulo fotovoltaico fue construido por Bell Laboratories en 1954. Fue anunciado como una batería solar y era principalmente una curiosidad, ya que era demasiado caro para obtener un uso generalizado. En la década de 1960, la industria espacial comenzó a hacer el primer uso serio de la tecnología para proporcionar energía a bordo de naves espaciales. A través de los programas espaciales, la tecnología avanzó, se estableció su confiabilidad y el costo comenzó a disminuir. Durante la crisis energética en la década de 1970, la tecnología fotovoltaica ganó reconocimiento como fuente de energía para aplicaciones no espaciales.

La energía fotovoltaica es la conversión directa de la luz en electricidad a nivel atómico. Algunos materiales exhiben una propiedad conocida como el efecto fotoeléctrico

que los hace absorber fotones de luz y liberar electrones. Cuando se capturan estos electrones libres, se obtiene una corriente eléctrica que se puede usar como electricidad.

Science NASA (2010)

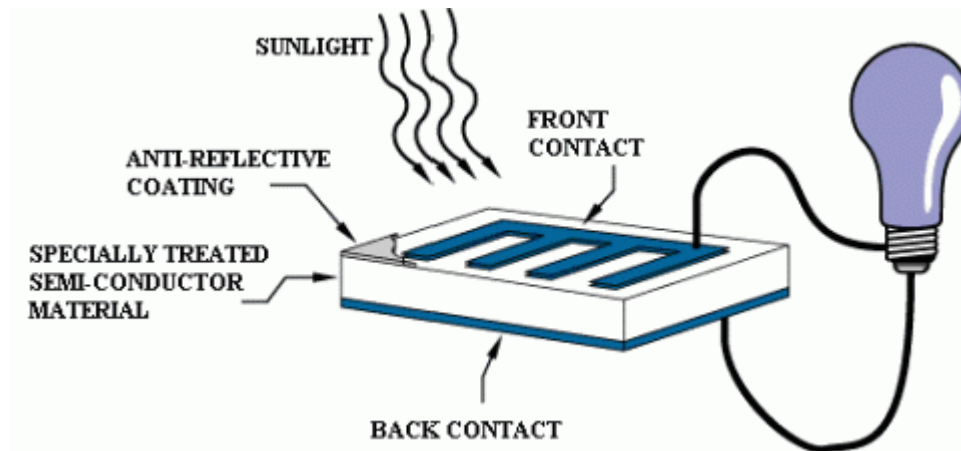


Figura 2. El funcionamiento de una célula fotovoltaica básica. Science NASA (2010)

La **Figura 2**, ilustra el funcionamiento de una célula fotovoltaica básica, también llamada célula solar. Las células solares están hechas del mismo tipo de materiales semiconductores, como el silicio, que se utiliza en la industria de la microelectrónica. Para las células solares, una oblea de semiconductor delgada se trata especialmente para formar un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro. Cuando la energía de la luz golpea la célula solar, los electrones se desprenden de los átomos en el material semiconductor. Si los conductores eléctricos están conectados a los lados positivo y negativo, formando un circuito eléctrico, los electrones se pueden capturar en forma de una corriente eléctrica, es decir, electricidad. Esta electricidad puede usarse para alimentar una carga, como una luz o una herramienta.

Un número de células solares conectadas eléctricamente entre sí y montadas en una estructura o bastidor de soporte se denomina módulo fotovoltaico. Los módulos están

diseñados para suministrar electricidad a un cierto voltaje, como un sistema común de 12 voltios. La corriente producida depende directamente de cuánta luz golpea el módulo.

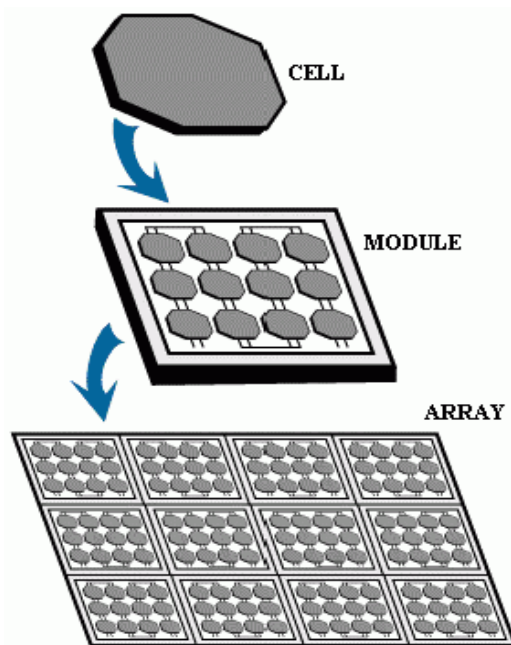


Figura 3. Múltiples módulos. Science NASA (2010)

Se pueden conectar varios módulos juntos para formar una matriz. En general, cuanto mayor sea el área de un módulo o matriz, más electricidad se producirá. Los módulos y arreglos fotovoltaicos producen electricidad de corriente continua (cd). Se pueden conectar en configuraciones eléctricas en serie y paralelas para producir cualquier combinación de corriente y voltaje requerida. Gil Knier (2008)

Los fotones golpean e ionizan el material semiconductor en el panel solar, lo que hace que los electrones externos se liberen de sus enlaces atómicos. Debido a la estructura semiconductora, los electrones se fuerzan en una dirección creando un flujo de corriente eléctrica. Las células solares no son 100% eficientes en el diagrama de una célula solar de silicio cristalino típico. Las células solares no son 100% eficientes en parte porque parte del

espectro de luz se refleja, algunas son demasiado débiles para crear electricidad (infrarrojos) y otras (ultravioletas) crean energía térmica en lugar de electricidad.

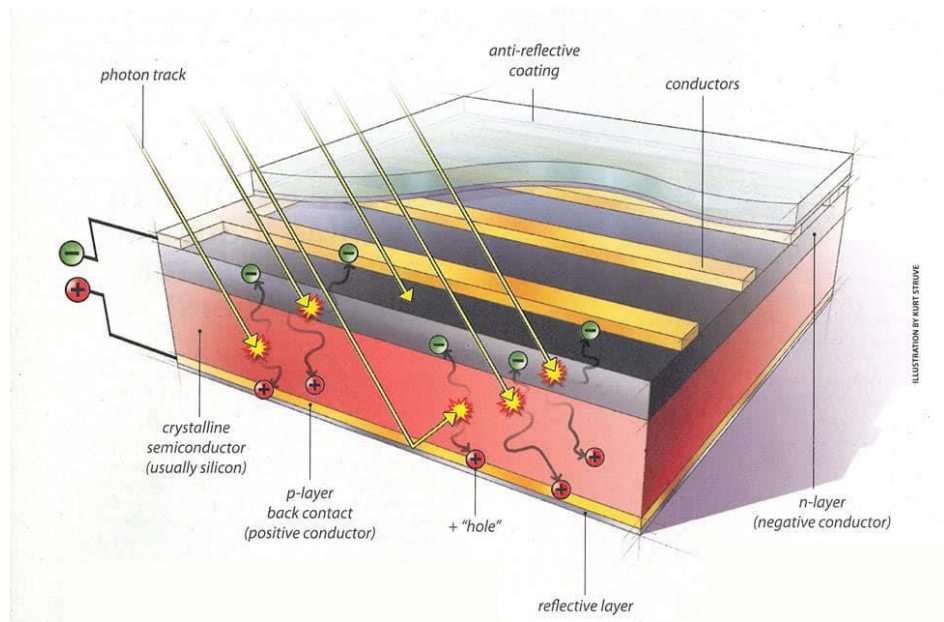


Figura 4. Diagrama de una célula solar de silicio cristalino típico. SEIA (2011)

Para hacer este tipo de células, las obleas de silicio de alta pureza se "dopan" con varias impurezas y se fusionan. La estructura resultante crea un camino para la corriente eléctrica dentro y entre las células solares. SEIA (2011)

1.8.5.2. Fotovoltaica moderna

El costo de la energía fotovoltaica se ha reducido drásticamente a medida que la industria ha ampliado su fabricación y mejorado la tecnología de forma incremental con nuevos materiales. Los costos de instalación también han disminuido con instaladores más experimentados y capacitados.

La mayoría de las células solares modernas están hechas de silicio cristalino o material semiconductor de película fina. Las células de silicio son más eficientes para convertir la luz solar en electricidad, pero en general tienen costos de fabricación más elevados. Los materiales de capa delgada suelen tener menores eficiencias, pero pueden ser más simples y menos costosos de fabricar. Una categoría especializada de células solares, llamadas células de unión múltiple o tándem, se utiliza en aplicaciones que requieren un peso muy bajo y muy altas eficiencias, como satélites y aplicaciones militares. Todos los tipos de sistemas fotovoltaicos son ampliamente utilizados en la actualidad en una variedad de aplicaciones. SEIA (2011)

1.8.6. Dimensionamiento del sistema energético

1.8.6.1. Determinación de la declinación solar mensual.

Para la determinación de la declinación solar de cada mes, se emplea la ecuación (2).

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 * 284 + \frac{\delta n}{365}\right) \quad (2)$$

Dónde:

δ : Declinación mensual (grados).

δn : Día típico del mes (el 1 de enero se toma como el día 1, y el 31 de diciembre se toma como el día 365).

1.8.6.2. Cálculo inclinación óptima mensual.

Para el cálculo de la inclinación óptima mensual se empleó la ecuación (3) y los valores de la declinación solar mensual.

$$\beta_{opt} = Latitud - \delta \quad (3)$$

Dónde:

β_{opt} : Inclinación óptima mensual (grados).

δ : Declinación mensual (grados).

1.8.6.3. Determinación de la radiación global sobre la superficie inclinada del panel.

Para la obtención de la radiación global diaria optima sobre una superficie inclinada, se empleó la ecuación (β_{opt}) (4) y los valores de la radiación solar horizontal.

$$G(\beta_{opt}) = \frac{G\alpha(0)}{1 - 4.46 \times 10^{-4} \beta_{opt} - 1.19 \times 10^{-4} \cdot \beta_{opt}^2} \quad (4)$$

Dónde:

(β_{opt}): Radiación global diaria óptima (kWh/m²/día).

(0): Radiación global horizontal (kWh/m²/día).

β_{opt} : Inclinación óptima mensual (grados).

1.8.6.4. Cálculo de horas solares pico.

Para determinar las horas solares pico sobre un panel inclinado, se procede primero a calcular el factor de irradiancia con la ecuación (5) a partir del factor de irradiancia y la radiación global diaria para el ángulo óptimo, (β_{opt}).

$$FI = 1 - [1.12 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \times 10^{-5}(\alpha^2)] \quad (5)$$

Dónde:

FI : Factor de irradiancia.

β_{opt} : Inclinación óptima (grados).

β : Inclinación panel (grados).

α : Orientación del panel (grados)

1.8.6.5. Factor de irradiancia

Las horas solares pico por día (HSP/día) se determinan mediante la ecuación (6).

$$HSP/Día = FI \cdot G(\beta_{opt}) \quad (6)$$

Dónde:

(β_{opt}) : Radiación global diaria para el ángulo óptimo (kWh/m²/día).

1.8.6.6. Dimensionamiento campo fotovoltaico

Por medio de la ecuación (7), se determina el dimensionamiento del campo fotovoltaico.

$$W_p = \frac{Wh}{HSP \cdot \eta R} \quad (7)$$

Dónde:

Wh : Consumo diario

HSP : Horas solares pico por día para el mes más desfavorable.

ηR : Eficiencia típica del regulador (80%)

1.8.7. Evaluación financiera

La evaluación puede considerarse como aquel ejercicio teórico mediante el cual se intentan identificar, valorar y comparar entre sí los costos y beneficios asociados a determinadas alternativas de proyecto con la finalidad de coadyuvar a decidir la más conveniente.

La evaluación financiera trabaja los flujos de ingresos y egresos con precios vigentes de mercado. Típicamente, toma como criterio de selección el valor presente neto (VPN) o la tasa interna de retorno (TIR). La evaluación financiera, analiza el proyecto desde su retorno financiero, se enfoca en el análisis del grado en que el proyecto cumple sus objetivos de generar un retorno a los diferentes actores que participan en su ejecución o financiamiento.

De acuerdo con lo planteado por Bejan el punto de inicio del análisis económico es el cálculo del costo total del capital que se va a invertir, el cual se compone en lo siguiente:

- Inversión en activos fijos: Corresponde a los costos de los activos fijos del sistema térmico.
- Costos de arranque: Se refiere a los costos de puesta en marcha del equipo.
- Capital de trabajo: Hace referencia al costo del capital inicial de trabajo del sistema térmico.
- Investigación y desarrollo: Corresponde a los costos asociados a patentes, y otros productos de I&D.

- Disponibilidad de fondos usados durante la construcción: Hace referencia a los costos relacionados con garantizar el dinero a invertir en las etapas de construcción del sistema térmico.

1.8.7.1. Inversión en activos Fijos

Los activos fijos corresponden a los costos directos de los equipos, instrumentación y demás componentes del sistema, así como los costos indirectos de los servicios asociados a la instalación del mismo.

1.8.8. Costos de instalación

1.8.8.1. Tubería y accesorios

Este ítem hace referencia a los costos de la unión entre los componentes del sistema: pozo, bomba, ablandador, filtro, desinfección, almacenamiento, paneles, entre otros.

Incluyendo tubería, accesorios, soportes, entre otros.

1.8.8.2. Instalación y montaje

Este ítem asocia los costos asociados respecto al envío de los equipos, seguros, legalización, entre otros. La mano de obra asociada al montaje de los paneles fotovoltaicos, se requieren 4 operarios y un ingeniero supervisor de montaje, y un tiempo de montaje de 4 días para el panel fotovoltaico Aristizabal (2013).

1.8.8.3. Equipos y materiales eléctricos

Este ítem incluye los costos de los equipos y accesorios para la red eléctrica para la operación y transporte de la electricidad producida.

1.8.8.4. Trabajo civil y estructural

Este ítem referencia los trabajos de adecuación de edificios y estructura civil para la ubicación de los equipos a utilizar.

1.8.8.5. Ingeniería y supervisión

Refiere los costos del equipo de diseño básico y de detalle del equipo, incluyendo además los costos de administración y utilidad del fabricante, viajes, consultorías, inspección, entre otros.

1.8.9. Parámetros de evaluación económica**1.8.9.1. Valor Presente Neto (VPN)**

Para comparar la rentabilidad del sistema del sistema uno de los parámetros a emplear el Valor Presente Neto (VPN), que se define como el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión, y se calcula como:

$$VPN = \sum Y_n(1 + r)^{-n} - I_0 \quad (8)$$

Dónde:

Y_n : flujo de caja del año de operación

I_0 : valor de la inversión inicial

r : tasa de rentabilidad deseada.

1.8.9.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de rendimiento (TIR) es una métrica que mide la rentabilidad de las inversiones potenciales. La tasa interna de rendimiento es una tasa de descuento que hace

que el valor presente neto (VPN) de todos los flujos de efectivo de un proyecto en particular sea igual a cero. Los cálculos de TIR dependen de la misma fórmula que NPV.

Esto quiere decir que la TIR es la tasa de rentabilidad (r) deseada en la ecuación del VPN, que permite recuperar la inversión inicial en el tiempo de duración del proyecto. En términos generales, cuanto mayor es la tasa interna de rendimiento del proyecto, más deseable es emprender el proyecto.

$$0 = \sum Y_n / (1 + TIR)^n - I_0 \quad (9)$$

Dónde:

Y_n : flujo de caja del año de operación

I_0 : valor de la inversión inicial

N : tiempo de duración del proyecto.

La TIR es uniforme para las inversiones de distintos tipos y, como tal, la TIR puede utilizarse para clasificar múltiples proyectos prospectivos que una empresa está considerando de forma relativamente pareja. Suponiendo que los costos de inversión son iguales entre los diversos proyectos, el proyecto con la mayor TIR probablemente se considere el mejor y se realice primero.

1.9. Sistemas propuestos para el tratamiento de agua

Para la selección del sistema se debe principalmente tener claro los sistemas adecuados para cada tipo de agua y elegir el más apropiado y que en este caso cumpla con la remoción de la dureza del agua. De acuerdo con la agencia nacional de minería la caliza, es una de las rocas más utilizadas en Colombia en la industria siderúrgica, fabricación de cal y en menores cantidades como roca ornamental en la industria de la construcción. Así mismo las mayores cantidades de esta se encuentran distribuidas en las cordilleras Oriental y Central y en la región Caribe. Es por tal razón que el agua subterránea ubicada en el municipio de El Carmen de Bolívar se encuentra con alto contenido de dureza y conductividad.

1.9.1. Sistema de ablandamiento

El sistema de ablandamiento mediante ablandadores de resina catiónica es una de las mejores opciones para remover la dureza del agua debido que su estructura especial compuesta por una placa de difusión inferior que separa el manto de resinas en dos cámaras. Sobre la cámara superior están montados unos codos o boquillas especiales tipo troncocónico de polipropileno, lo que es fundamental para una distribución de flujo homogéneo sobre el manto de resina.

La distribución de flujo durante la regeneración es uniforme, lo cual permite la limpieza de resina e impide la formación de Hendiduras y Canalizaciones. La distribución es uniforme por sobre todo el manto de resinas durante la etapa de ablandado, lo que asegura una alta calidad de agua tratada. FWS (2014)



Figura 5. Sistema de tratamiento. Filtomat wáter systems (2014)

1.9.2. Sistema de filtración

El filtro multimedia es un sistema de purificación de agua de alto rendimiento donde esta pasa a través de diferentes medios filtrantes como son grava, arena y carbón activado, lo cual elimina patógenos y solidos disueltos en el agua. Este proceso se da gracias a la decantación que ayuda a remover componentes físicos y orgánicos que se encuentran presentes en el agua. Aguasistec (2017)

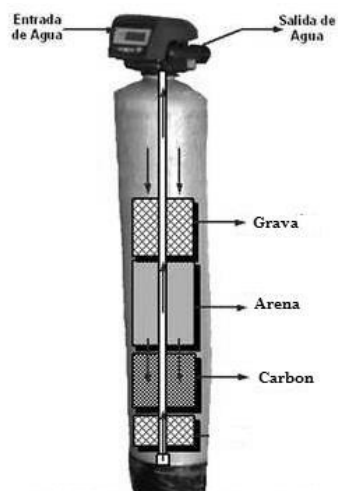


Figura 6. Filtro multimedia. Aguasistec (2017)

1.9.3. Sistema de desinfección

La desinfección con cloro es una de las técnicas más utilizadas para purificar el agua para consumo humano debido que este agente elimina bacterias, virus y hongos. La cloración se puede lograr con diferentes productos entre estos tenemos el cloro gaseoso.

Esta técnica consiste en que cloro se almacena como líquido en recipientes presurizados y se inyecta como gas directamente en el agua fuente, en el caso de este sistema, una vez el agua sea ablandada y filtrada se concentrará en un tanque de almacenamiento donde le será proporcionado el cloro gaseoso para su desinfección. Este proceso debe ser regulado e implementado cuidadosamente, debido a que el gas de cloro es un tóxico peligroso, incluso letal. Wiki Water (2018)



Figura 7. Pipetas de cloro gaseoso conectadas al tanque de desinfección. Acquatron S.A. (2010)

1.10. Dimensionamiento del sistema de tratamiento

1.10.1. Población futura

1.10.1.1. Método aritmético

El método aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la ecuación B. 2.1. (10) Minvivienda (2014)

$$P_f = P_{uc} \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc}) \quad (10)$$

Dónde:

P_f = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc} = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial con información.

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

1.10.1.2. Método geométrico

El método geométrico es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es la ecuación B. 2.2. (11) Minvivienda (2014)

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (11)$$

Dónde:

r= Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes). Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula con la formula B. 2.3. (12) Minvivienda (2014)

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} \quad (12)$$

1.10.1.3. Método exponencial

El método exponencial requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la proyección del DANE. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la ecuación B. 2.4. (13) Minvivienda (2014)

$$P_f = P_{ci} \times e^{kx(T_f - T_{ci})} \quad (13)$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, la cual se calcula con la ecuación

B. 2.5. (14) Minvivienda (2014)

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (14)$$

Dónde:

P_{cp} = Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca} = Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp} = Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} = Año correspondiente al censo anterior.

\ln = Logaritmo natural o neperiano.

1.10.2. Dotaciones

La dotación neta debe determinarse haciendo uso de información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en su defecto, recopilada en el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), siempre y cuando los datos sean consistentes. En todos los casos, se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en la **Tabla 2**. Alcaldía Mayor de Bogotá (2017)

Tabla 2

Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida. RAS 2017 (2017)

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m. s. n. m.	120
1000 – 2000 m. s. n. m.	130
> 1000 m. s. n. m.	140

1.10.2.1. Dotación bruta

La dotación bruta para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto, indistintamente del nivel de complejidad, se debe calcular teniendo en cuenta la ecuación (15) Alcaldía Mayor de Bogotá (2017)

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P} \quad (15)$$

Dónde:

dbruta: Dotación bruta

dneta: Dotación neta

%p: pérdidas máximas admisibles.

El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25%. Alcaldía Mayor de Bogotá (2017)

1.10.3. Pérdidas técnicas

El porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación anterior engloba el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema (como conducciones, aducciones y redes), así como las necesidades de la planta de tratamiento de agua potable, y no deberá superar el 25%. Alcaldía Mayor de Bogotá (2017)

1.10.4. Calculo demanda de agua

1.10.4.1. Caudal medio diario (*qmd*)

El caudal medio diario, *Qmd*, corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño, el cual debe calcularse utilizando la ecuación B. 2.9. (16) Minvivienda (2014)

$$Qmd = \frac{Población\ futura \times d_{bruta}}{86400} \quad (16)$$

Dónde:

Qmd: caudal medio diario

dbruta: dotación bruta, dada en metros cúbicos/suscriptor mes En esta ecuación 30 representa el número de días en el mes.

1.10.4.2. Caudal máximo diario

El caudal máximo diario, *QMD*, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, *k₁*, como se indica en la ecuación B. 2.10. (17) Minvivienda (2014)

$$QMD \text{ (caudal maximo diario)} = Qmd \times k_1 \quad (17)$$

Dónde:

QMD: caudal máximo diario

Qmd: caudal medio diario

k1: coeficiente de consumo máximo diario

El coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año.

En caso de sistemas nuevos, el valor del coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , será 1.30.

Tabla 3

Coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , según el Nivel de Complejidad del Sistema.

RAS 2017 (2017).

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	COEFICIENTE DE CONSUMO MÁXIMO DIARIA - K_1
Bajo	1.30
Medio	1.30
Medio alto	1.20
Alto	1.20

1.10.4.3. Caudal máximo horario

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el 39 caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , según la ecuación B. 2.11. (18) Minvivienda (2014)

Tabla 4

Coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , según el Nivel de Complejidad del Sistema y el tipo de red de distribución. RAS 2017 (2017).

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	RED MENOR DE DISTRIBUCIÓN	RED SECUNDARIA	RED MATRIZ
Bajo	1.60	-	-
Medio	1.60	1.50	-
Medio alto	1.50	1.45	1.40
Alto	1.50	1.45	1.40

Una red menor de distribución, corresponde a diámetros hasta 100 mm (4 pulgadas); una red secundaria, incluye diámetros mayores de 100 mm (4 pulgadas) y menores de 300 mm (12 pulgadas) y una red matriz, corresponde a diámetros mayores o iguales a 300 mm (12 pulgadas), teniendo en cuenta que el municipio de El Carmen de Bolívar no cuenta con grandes industrias se toma red secundaria y de acuerdo al nivel de complejidad que es alto k_2 corresponde a 1.45.

$$QMH = QMD * k_2 = QMD * \left(1.45 \frac{L}{S}\right) \quad (18)$$

Dónde:

QMH: caudal máximo horario

Qmd: caudal medio diario

k_2 : coeficiente de consumo máximo horario

1.10.4.4. Caudal de diseño

Caudales de diseño. Los caudales de diseño de cada uno de los componentes del sistema de acueducto, según las variaciones diarias y horarias que pueden presentar, se establecen en la **Tabla 5**. Alcaldía Mayor de Bogotá (2017)

Tabla 5

Caudales de diseño. RAS 2017 (2017)

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Captación fuente superficial	Hasta 2 veces QMD
Captación fuente subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
Tanque	QMD
Red de distribución	QMH

1.10.5. Captación

En el presente proyecto, para realizar los cálculos de aducción se utiliza el caudal máximo diario, como se mencionó anteriormente.

Para el proceso de recolección del agua e inicio del tratamiento, el sistema parte del pozo con una adición de tubería PVC con el objetivo de impulsar el agua mediante una electrobomba hasta el ablandador. Para tal objetivo se hace necesario calcular las pérdidas

que se pueden generar por fricción, la altura dinámica de la bomba y la potencia para finalmente escoger la bomba que cubra nuestra necesidad.

1.10.5.1. Cálculo de las pérdidas por fricción

Para el cálculo hidráulico y la determinación de las pérdidas por fricción en las tuberías a presión, el diseño debe utilizar la ecuación de Williams & Hazen, teniendo en cuenta su rango de validez, o la ecuación de Darcy-Weisbach, en conjunto con la ecuación de Colebrook-White. Estas ecuaciones son las ecuaciones B. 7.12 (19) y B. 7.13. (20) Minvivienda (2014)

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (19)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (20)$$

Dónde:

D = Diámetro interno real de la tubería (m).

f = Coeficiente de fricción de Darcy (adimensional).

hf = Pérdida de altura debida a la fricción (m).

ks = Rugosidad absoluta de la tubería (m).

L = Longitud total de la tubería (m).

Re = Número de Reynolds (adimensional).

v = Velocidad media del flujo (m/s).

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

En este proyecto, determinamos la pérdida de fricción para cada diámetro, utilizando la ecuación de Hanzen-Williams.

$$hf = \left(\frac{v}{0,355 \times CH_W \times D^{0,63}} \right)^{1,85} \times L \quad (21)$$

Dónde:

CH_W : Coeficiente que depende del material de la tubería

L : Longitud de la tubería,

1.10.5.2. *Calculo altura dinámica total*

Para determinar la altura dinámica total se utiliza la formula (15)

$$HDT = He + HL + hf \quad (22)$$

Dónde:

He : Altura estática que para este caso tiene un valor de 20 m.

HL : Pérdida por accesorios.

hf : La pérdida por fricción.

1.10.6. Potencia de la bomba

La potencia requerida por la bomba debe ser la suficiente para obtener la capacidad del sistema bajo la condición de caudal máximo de operación. Esta potencia se calcula de acuerdo con la Ecuación B. 8.2 (23) Minvivienda (2014)

$$P_B = \frac{\gamma \times Q_C \times HDT}{76 \times n} \quad (23)$$

Dónde:

γ : Peso específico del agua.

Q_C : Caudal de captación.

HDT : Cabecera dinámica.

n : Eficiencia de la bomba que va del 60%-80%.

1.11. Formulación de Hipótesis

El diseño de un sistema de tratamiento de agua dura a partir del uso de energía solar, permite producir agua potable, apta para consumo humano, para brindar un servicio de agua potable para las comunidades de los barrios estrato 3, que aún no cuentan con el servicio de acueducto y alcantarillado, por lo que se ven obligados a tomar otras alternativas no viables para la recolección de agua, lo que conlleva principalmente a afectaciones de salud en la comunidad. Se tendrán en cuenta las distintas tecnologías tratamiento de agua, evaluación y selección de la más adecuada desde un punto de vista técnico, económico, ambiental y de seguridad, y su integración con la fuente energética.

1.12. Marco geográfico

El Carmen de Bolívar es un municipio del departamento de Bolívar, Colombia, a 114 km al sudeste de Cartagena de Indias. Se encuentra en el sistema orográfico de la Serranía de San Jacinto, muy cerca del litoral Caribe colombiano. Es el tercer municipio más poblado del Departamento. Cuenta con una extensión total de 954 Km², la cual se encuentra dividida en área urbana con 45,8 Km² y en área rural con 947 Km². La altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar) son 152 y consta de una temperatura media de 29°. Alcaldía de El Carmen de Bolívar (2018)

Límites: Por el Norte con el Municipio de San Jacinto, por el Sur con el municipio de Ovejas (Sucre), por el este con los Municipios de Zambrano y Córdoba, por el Oeste con los Municipio de Coloso y San Onofre (Sucre).

En la **Figura 8**, se muestra donde se encuentra ubicado el municipio del Carmen de Bolívar y los departamentos que se encuentran cercanos a este mismo, los cuales, presentan características climáticas similares a las del municipio.

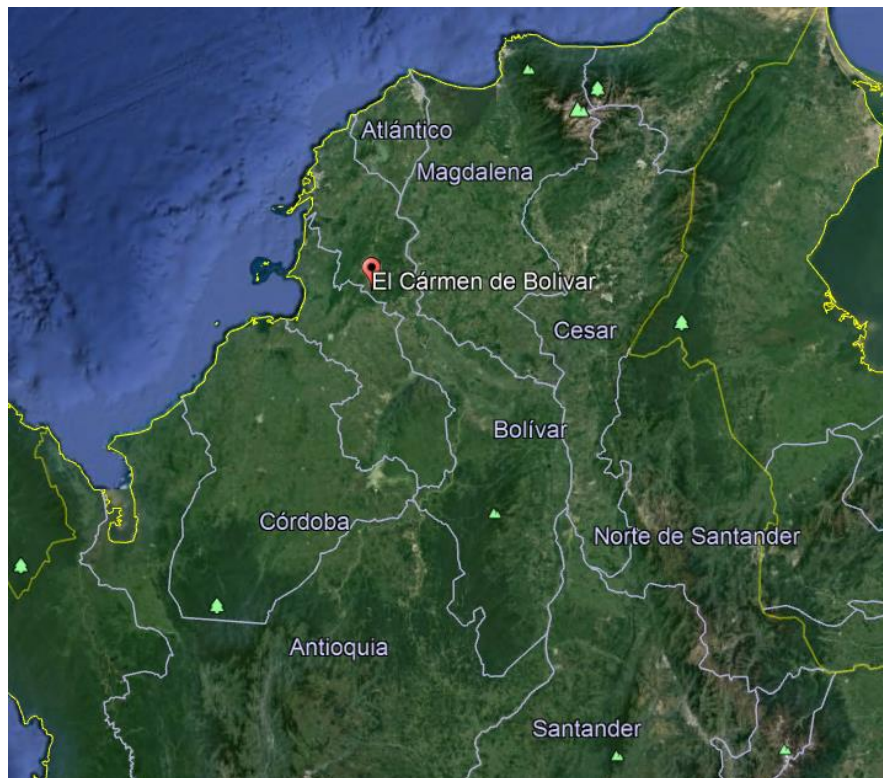


Figura 8. Ubicación municipio de El Carmen de Bolívar. Google Earth,(2018)

En el Departamento de Bolívar, la gerencia de Aguas de Bolívar, presentó un informe en el mes de abril, del presente año, donde afirmaron que pese a la infraestructura entregada en algunos municipios, la prestación del servicio está restringida o es insuficiente porque existe bajo recaudo de la facturación, costos o deudas por energía eléctrica, costo de insumos químicos, despilfarro de agua o insuficiente capacidad técnica de los operarios; esto sumado a la temporada de sequía que ha disminuido el caudal y la capacidad de las fuentes de agua que abastecen los diferentes municipios y sus corregimientos en especial en el norte del departamento. Caracol (2018)

En el Carmen de Bolívar, se encuentra operando actualmente, la empresa Acuecar S.A. E.S.P., la cual es la encargada del acueducto y alcantarillado en el municipio, sin embargo, por las razones que se mencionaron anteriormente, esta prestación del servicio se encuentra restringida en zonas donde la población no tiene los recursos necesarios para cancelar ese servicio, sin embargo existen unos barrios que cuentan con estrato 3 que están en las capacidades para costear este servicio entre ellos están, Los Mangos, Las Mercedes, Siete de Agosto. En la **Figura 9**, se muestra el municipio de El Carmen de Bolívar, donde se especifica el área que corresponde a las viviendas de estrato 3, que no cuentan con el servicio de agua potable aún, por estas restricciones que se presentan en el Departamento de Bolívar. Debido a esto, esta zona es seleccionada como el área de estudio del presente proyecto.



Figura 9. Ubicación viviendas sin servicio de agua en el Carmen de Bolívar. Acuecar (2018)

1.13. Marco legal

Para el marco normativo de esta investigación se partirá desde la Resolución 2115 de 2007, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) 2017 y la Resolución 12186 de 1991, del Ministerio de Salud.

Sobre la Resolución 2115 de 2007 por la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. En esta resolución se expone que el tratamiento o potabilización es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características tanto físicas, como químicas y microbiológicas, con el fin de lograr que sea apta para consumo humano.

Por otra parte, el RAS2017 diseña los componentes de un sistema de potabilización de agua, su conceptualización, diseño, puesta en marcha operación y su respectivo mantenimiento.

El Decreto 1575 de 2007, el cual tiene como objeto, establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.

La Resolución 330 de 2017, Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). La presente resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Los valores de referencia para la calidad del agua se toman del título C del RAS2017 se aprecian en la **Tabla 6.** (Ver **Anexo 1**)

1.14. Autoridad ambiental

La autoridad ambiental en el municipio del Carmen de Bolívar, ubicado en el departamento de Bolívar, es La Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique - Cardique, “En su área de jurisdicción como máxima autoridad ambiental encargada de administrar el ambiente y los recursos naturales, propende por el desarrollo sostenible con enfoque ecosistémico en sus tres (3) ecorregiones: Canal del Dique, Marino Costera – Cuenca Ciénaga de La Virgen y Montes de María.” Cardique (2017)



Figura 10. Ecorregiones de Cardique. Cardique (2017)

En la ***Figura 10***, se muestran las ecorregiones de Cardique, la última ecorregión es la de Montes de María, la cual está integrada por los municipios de Córdoba Tetón, El Carmen de Bolívar, El Guamo, San Jacinto, San Juan de Nepomuceno y Zambrano.

2. Marco metodológico

2.1. Diseño metodológico

En el proyecto de investigación se plantearon tres etapas para desarrollar los objetivos propuestos, realizando principalmente la caracterización de la fuente hídrica, diseñando el sistema de tratamiento adecuado de acuerdo al tipo de agua encontrada y obtener la rentabilidad del sistema de tratamiento de agua mediante el cálculo de parámetros financieros como la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación de la inversión.

El proyecto de investigación se desarrolló en el departamento de Bolívar, específicamente en el municipio de El Carmen de Bolívar. Las muestras para el proceso de diseño se tomaron de una vivienda ubicada en la carrera 54 con calle 26 (esquina), lugar donde se encuentra ubicado un pozo artesanal que, por sus condiciones subterráneas, puede contener agua dura, de la cual la comunidad la extrae de manera manual para uso doméstico y consumo humano.

El desarrollo de esta investigación se ha definido por fases para establecer mayor claridad en los objetivos que se quieren alcanzar.

2.1.1. Fase 1

Se seleccionará como fuente hídrica un pozo de agua ubicado en una vivienda del municipio de El Carmen de Bolívar, del cual se van a extraer tres (3) muestras de aproximadamente 2 (dos) Litros en una semana. Luego de obtener las muestras, se realizará la caracterización físico químico y microbiológico en el Centro de Investigación (CITA) de la Universidad de la Costa (CUC), necesaria para conocer el estado en el que se encuentra el

agua. En la respectiva caracterización se medirán los siguientes parámetros: Sólidos disueltos totales, Conductividad, pH, Dureza total, Oxígeno disuelto, Color, Turbiedad, Alcalinidad, Salinidad, Temperatura, Coliformes fecales y Coliformes totales.

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización se procederá a seleccionar la tecnología y la configuración adecuada para el tratamiento de agua integrando, con la fuente energética de acuerdo con las características de la fuente hídrica. Para esto se desarrollará la proyección de la población, el cálculo de las dotaciones y los caudales a utilizar en el diseño del sistema de tratamiento, posteriormente se realizarán los cálculos para la captación del agua a utilizar. En la **Figura 11**, se encuentra la metodología que será utilizada para el cálculo de la población futura, teniendo en cuenta datos reales de la población del Carmen de Bolívar de estrato 3, que no cuenta aún con el servicio de agua potable. Toda la información de la distribución y la cantidad de las casas y/o personas que no cuentan con el servicio de agua, según los estratos, será suministrada por la empresa Acuecar S.A. E.S.P., encargada del acueducto y alcantarillado, en el Carmen de Bolívar.

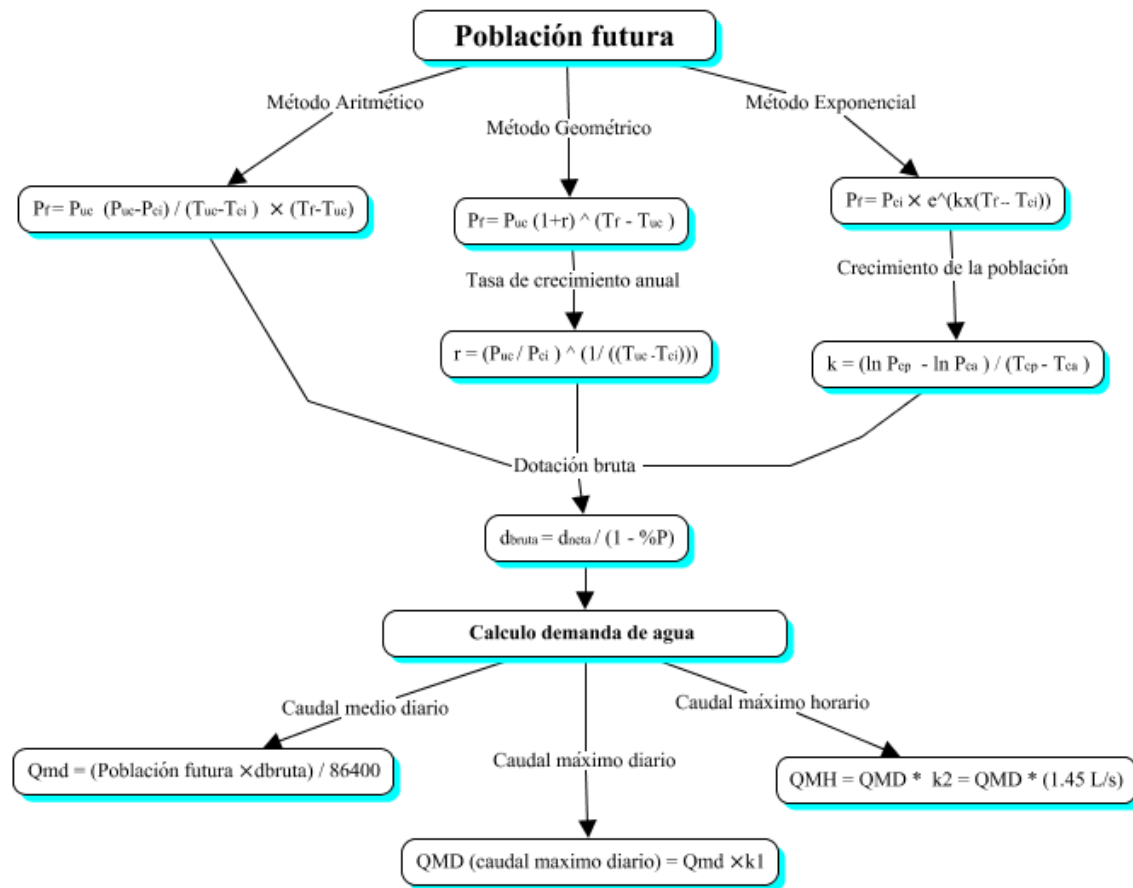


Figura 11. Población futura y demanda de agua. Elaboración propia.

A partir de los cálculos de población futura y demanda de agua, los cuales fueron expuestos en la **Figura 11**, se procederá a realizar los cálculos para obtener los valores referentes a la captación de agua y la potencia de la bomba, que estaría operando en este mismo punto. La metodología que se utilizará para obtener los datos de estas mismas, se presenta en la **Figura 12**.

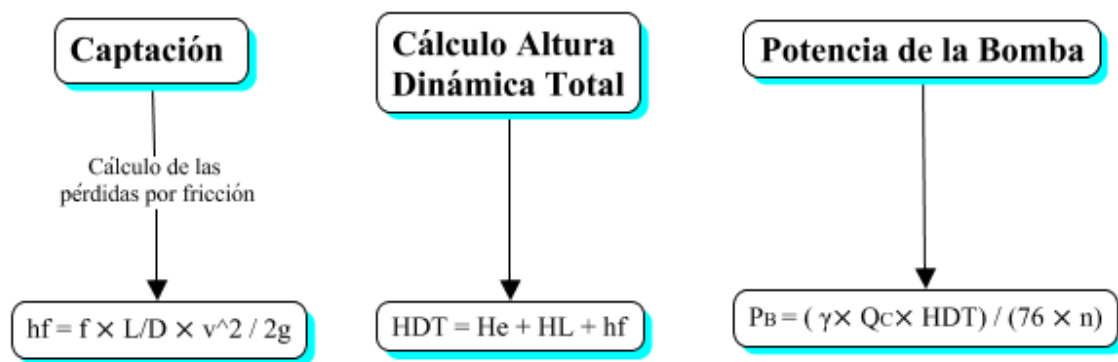


Figura 12. Captación y potencia de la bomba. Elaboración propia.

2.1.2. Fase 2

En esta fase se determinará las dimensiones del sistema de tratamiento de agua definiendo el nivel de producción de la planta y sus especificaciones. Se realizará la selección de los equipos y accesorios a utilizar con el fin que maximicen la capacidad del sistema y minimicen el consumo energético. En la **Figura 13**, se muestra la metodología en base a los cálculos que serán utilizados para conocer los diferentes parámetros para dimensionar el sistema energético y el consumo que requiere el sistema de tratamiento, para poder conocer si se cumple el objetivo de minimizar el consumo energético.

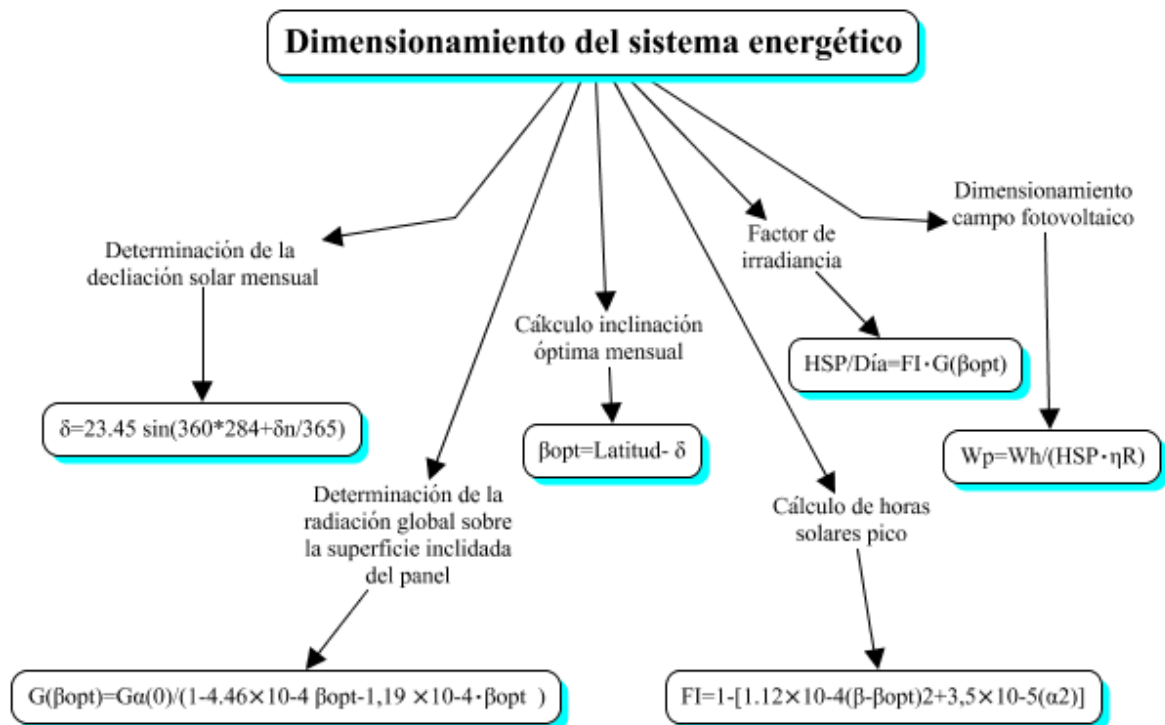


Figura 13. Cálculos dimensionamiento del sistema energético. Elaboración propia.

2.1.3. Fase 3

En esta fase se determinará la rentabilidad del sistema mediante la determinación de los costos de adquisición, de operación y mantenimiento, elaboración de los flujos de caja y el cálculo de parámetros financieros como la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación de la inversión. Los parámetros que serán utilizados en este proyecto, se muestran en la **Figura 14**.

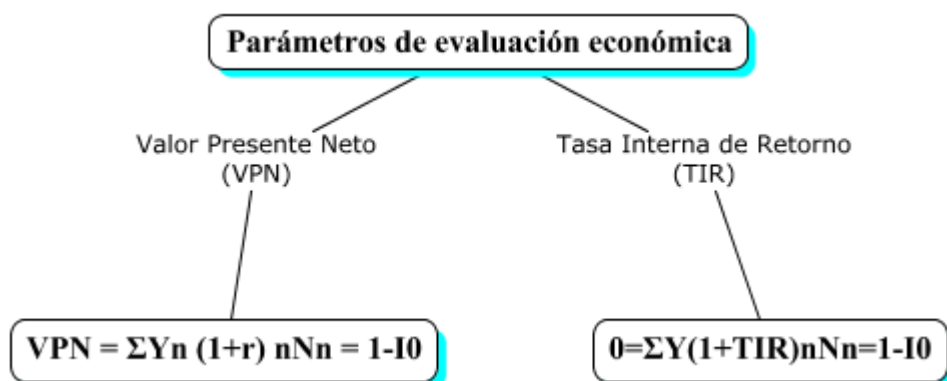


Figura 14. Parámetros de evaluación económica.

3. Resultados

3.1. Caracterización de la fuente hídrica

Se realiza el estudio característico de la fuente hídrica determinando las condiciones de la misma y las concentraciones de los distintos parámetros.

Se seleccionó como fuente hídrica un pozo artesanal que se encuentra ubicado en una vivienda del municipio de El Carmen de Bolívar, del cual se extrajeron 3 (tres) muestras de aproximadamente 2 litros durante una semana en un intervalo mayor a 24 (veinticuatro) horas, como lo indica la Resolución 330 del 2017, Artículo 107, el cual hace referencia a la caracterización de agua cruda y se presentan las actividades que se deben desarrollar para la caracterización del agua cruda del cuerpo de agua abastecedor. A estas muestras se les realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica necesaria para conocer el estado en el que se encontraba.

Los resultados arrojados al realizar la caracterización de las muestras de agua se muestran en las **Tabla 6**.

Tabla 6

Caracterización inicial de la muestra. Elaboración propia.

PARÁMETRO	STANDARD METHOD	UNIDAD	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3
Sólidos disueltos totales		mg/l	4023	4002	4036
Conductividad	2520 B	uS/cm	6290	6140	6309
pH		-	7,14	7,15	7,18

Dureza total	2340 C	mg/l	1760	1830	1756
Oxígeno disuelto		mg/l	3.01	3.00	3.08
Color	2120 C	-	5	5	5
Turbiedad	2130 B	NTU	0.44	0.48	0.41
Alcalinidad	2320 B	mg/l	680	678	689
Salinidad	2520 B	ppt	3.4	3.4	3.5
Temperatura	2550 B	°C	28.4	28.9	28.7
Coliformes fecales		UFC/100ml	920	921	920
Coliformes totales		UFC/100ml	8200	8201	8200

3.2.Dimensionamiento del sistema de tratamiento

3.2.1. Selección de los procesos de tratamiento

El primer paso del dimensionamiento del sistema de tratamiento es la selección de los procesos adecuados para la fuente hídrica. La caracterización muestra que el agua analizada presenta alta concentración de dureza. La **Figura 15** muestra los procesos que integran el sistema de tratamiento propuesto, los cuales fueron seleccionados en base a los resultados de la caracterización de la fuente hídrica con el fin de garantizar el tratamiento a un bajo costo de energético y con el mínimo requerimiento de equipos.

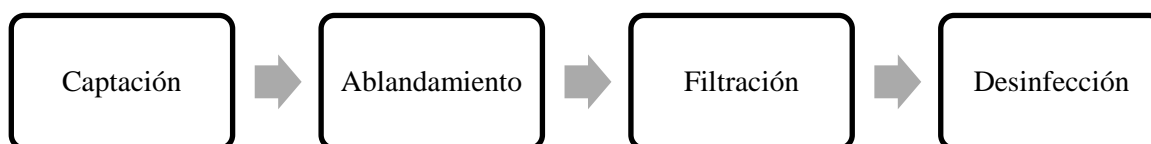


Figura 15. Sistema de tratamiento (Elaboración propia)

3.2.2. Calculo de población futura

A partir de la aplicación de los métodos de proyección de población se determinó que la población futura que no cuenta con agua para el año 2043 en el municipio de El Carmen de Bolívar es de 13874 habitantes. Este proyecto pretende impactar el 5,6% de esta población, es decir, un total de 776 habitantes. Se tomó este porcentaje de acuerdo a la información suministrada por la empresa encargada del servicio de agua del municipio (Acuecar S.A. E.S.P.), la cual nos indica que aproximadamente este porcentaje son estrato 3 y se encuentran en condición económicas de adquirir este servicio a un costo.

3.2.3. Calculo de las dotaciones

El Municipio de El Carmen de Bolívar no posee una gran industria, por lo que el mayor consumo tiene lugar en el sector residencial. Además teniendo en cuenta la altura promedio sobre el nivel del mar de la zona, se obtiene una dotación de 140 L/hab/día.

3.2.4. Caudal de diseño

Para nuestro caso de estudio el caudal de diseño será el caudal máximo diario (QMD), el cual tenemos como resultado 1.7 L/s, como se muestra en la **Tabla 7**.

Tabla 7

Resultados cálculos demanda de agua. (Elaboración propia)

ÍTEM	VALOR	UNIDAD
Dneta	140	L/hab
% pérdidas técnicas para dotación bruta	0.20	RAS (20%)
dotación bruta	149.80	L/hab
Caudal medio diario	1.3	L/s
Caudal máximo diario	1.7	L/s
Caudal máximo horario	2.0	L/s
Caudal de diseño	1.7	L/s
Caudal de diseño	0.0017	m ³ /s

3.2.5. Captación

3.2.5.1. Cálculo de las pérdidas por fricción

En este caso se utilizará PVC, estableciendo un coeficiente de 150. Siendo para este caso 198,6 m.

3.2.6. Potencia de la bomba

Para determinar el valor de la potencia de la bomba, se realizaron los cálculos de las perdidas por fricción y la altura dinámica total, cuyos valores se muestran en la **Tabla 8**, al igual que los valores de la potencia entregada por la bomba.

Tabla 8

Cálculos de pérdidas por fricción y potencia de la bomba. Elaboración propia.

ITEM		VALOR	UNIDAD
Pérdida por fricción	hf1	0.015	-
	hf2	0.001	-
Altura dinámica total	HDT1	20.0183	M
	HDT2	20.0006	M
Potencia entregada por la bomba al fluido	Pb1	0.56	Hp
	Pb2	0.56	hp

3.2.7. Dimensionamiento del sistema

El dimensionamiento del sistema, fue diseñado teniendo en cuenta los resultados obtenidos principalmente de la caracterización realizada a las muestras de agua, del punto de captación de agua de este proyecto. Cada proceso en el sistema de tratamiento, se incluyó con el fin de lograr los objetivos planteados y de conseguir prestar un servicio de agua óptimo para los habitantes del Carmen de Bolívar, que carecen de agua potable. En la **Figura 16**, se ilustra el dimensionamiento del sistema propuesto.

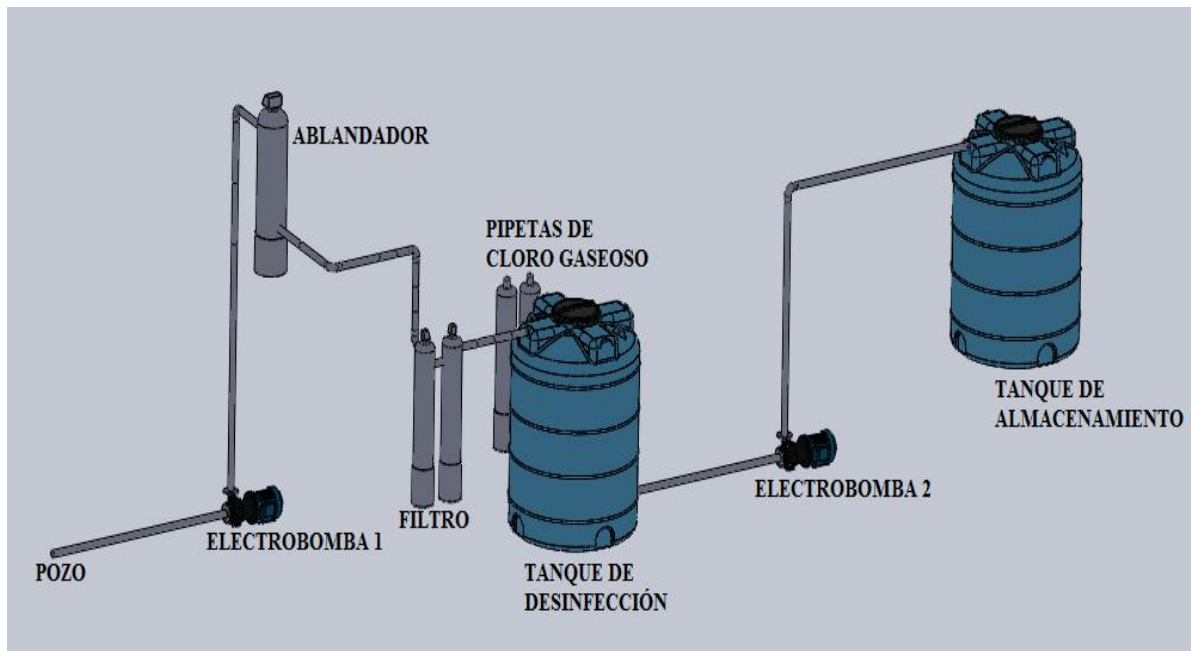


Figura 16. Diseño del sistema propuesto. Elaboración propia.

3.3. Dimensionamiento del sistema de alimentación energética

Dado que el sistema de energía fue definido previamente como un sistema de paneles fotovoltaicos, el sistema incluirá almacenamiento energético en baterías para garantizar el suministro ininterrumpido de energía aún en condiciones de alta nubosidad.

3.3.1. Coordenadas y datos del proyecto.

La ubicación de este proyecto se encuentra diseñada en El Carmen de Bolívar, municipio del departamento de Bolívar. Los datos de latitud, longitud, orientación e inclinación se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9*Datos de Ubicación del proyecto. Elaboración propia.*

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Latitud	°	9.716371
Longitud	°	75.118113
Inclinación	°	20
Orientación	°	10

3.3.2. Determinación de la declinación solar mensual.

Los valores de la declinación solar para cada mes se encuentran en la **Tabla 10**.

Tabla 10*Declinación solar mensual. Elaboración propia.*

MES	DIAS POR MES	DIA TIPICO (δn)	δ (°)
Enero	31	16	12.44
Febrero	28	45	7.15
Marzo	31	75	1.21
Abril	30	105	4.80
Mayo	31	136	10.69
Junio	30	166	15.66
Julio	31	197	19.71
Agosto	31	228	22.36
Septiembre	30	258	23.42
Octubre	31	289	22.88
Noviembre	30	319	20.82

Diciembre	31	350	17.24
-----------	----	-----	-------

3.3.3. Cálculo inclinación óptima mensual.

Los valores de la inclinación óptima para cada mes se encuentran en la **Tabla 11**.

Tabla 11

Inclinación óptima mensual. Elaboración propia.

MES	β_{opt} (°)
Enero	2.72
Febrero	2.56
Marzo	8.50
Abril	14.52
Mayo	20.40
Junio	25.38
Julio	29.42
Agosto	32.08
Septiembre	33.14
Octubre	32.60
Noviembre	30.54
Diciembre	26.96

3.3.4. Determinación de la radiación global sobre la superficie inclinada del panel.

Los valores de radiación solar horizontal fueron consultados para la latitud y longitud del proyecto en las bases de datos del National Renewable Energy Laboratory

(NREL) y la National Aeronautics and Space Administration (NASA) los cuales se encuentran en la **Tabla 12**.

Tabla 12

Valores de radiación global horizontal y radiación global para el ángulo óptimo para la ubicación del proyecto. NREL-NASA (2017)

MES	$G\alpha(0)$ KWH/M ² DÍA	$G\alpha(\beta_{opt})$ KWH/M ² /DÍA
Enero	5.74	5.74
Febrero	5.84	5.85
Marzo	5.9	5.97
Abril	5.54	5.72
Mayo	5	5.31
Junio	5.11	5.60
Julio	5.34	6.04
Agosto	5.23	6.06
Septiembre	4.87	5.70
Octubre	4.62	5.38
Noviembre	4.7	5.37
Diciembre	5.09	5.65

3.3.5. Factor de irradiancia

Los valores obtenidos del Factor de irradiancia y horas solares pico por día, se muestran en la **Tabla 13**.

Tabla 13

Factor de irradiancia y horas solares pico (HSP) por día. Elaboración propia.

MES	FI	HSP/DÍA
Enero	0.972	5.58
Febrero	0.972	5.69
Marzo	0.973	5.81
Abril	0.972	5.56
Mayo	0.971	5.16
Junio	0.972	5.44
Julio	0.973	5.88
Agosto	0.973	5.90
Septiembre	0.972	5.54
Octubre	0.971	5.22
Noviembre	0.971	5.21
Diciembre	0.972	5.49

3.3.6. Consumo diario.

De acuerdo al diseño del sistema, el único equipo que consume energía es la bomba.

La energía consumida por la bomba es suficiente para mantener el fluido en operación ya

que la válvula del filtro multimedia se escogió para operación manual y no electrónica. Los valores de potencia, tiempo de operación y energía consumida se muestran en la **Tabla 14**.

Tabla 14

Consumo energético diario. Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN	POTENCIA (W)	TIEMPO DE OPERACIÓN (H)	TENSIÓN AC (V)	TENSIÓN DC (V)	CONSUMO DIARIO (WH)	POTENCIA ANUAL (W)
Bomba Pedrollo CP650	1119	0.75	110	12	626.64	340.3

3.3.7. Cabeza de bomba

La bomba seleccionada para nuestro proyecto, fue la bomba Pedrollo CP650. En la **Figura 17** se realiza el gráfico del caudal del sistema versus la cabeza dinámica total, de acuerdo a las especificaciones de fábrica de la bomba.

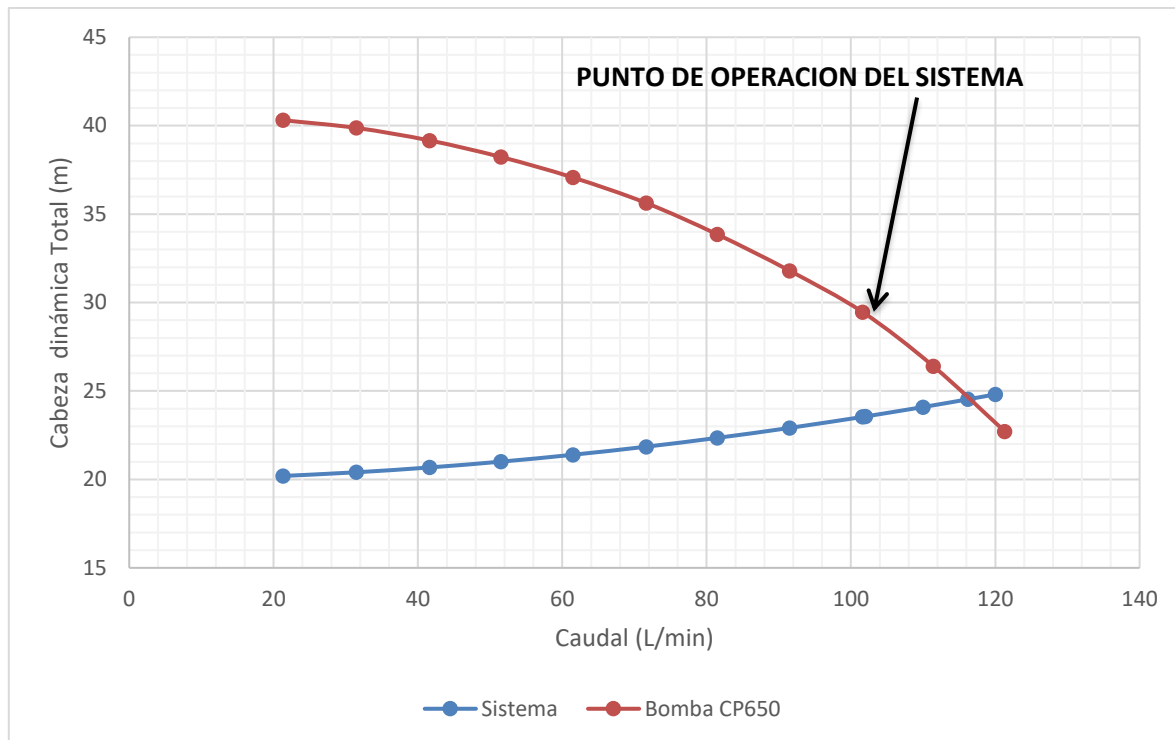


Figura 17. Cabeza de la bomba vs caudal del sistema. Elaboración propia.

En la **Figura 17** se muestra la curva azul, la cual es la curva de la altura dinámica del sistema, esta es la suma de las pérdidas y la cabeza estática. Las pérdidas son función del caudal, y la cabeza estática es la diferencia de altura entre la entrada y salida del sistema. De la gráfica se observa que el punto óptimo de operación para la bomba se obtiene a una caudal de 116.2 L/min, sin embargo, este caudal es mayor que el caudal de diseño, por lo cual la bomba no debe operar en este punto. Para el sistema propuesto, la bomba debe operar con un caudal de 102 L/min y requiere una cabeza de 23.56 m. La bomba CP650 garantiza una cabeza de 29.34 m para un caudal de 102 L/min, lo que indica que ésta cumple con el requerimiento. No obstante, para regular la presión se requerirá utilizar una válvula reguladora de presión para mantener el caudal y disminuir la presión de la corriente.

3.3.7.1. Dimensionamiento campo fotovoltaico.

En la **Tabla 15**, se muestran las dimensiones del campo fotovoltaico. De acuerdo a esta información presentada, se concluye que el mes más desfavorable es el mes de mayo con tan solo 5,17 HSP/día. Con la información de la **Tabla 13** y la **Tabla 14** se procede a determinar la potencia pico requerida mediante la ecuación Wp.

Tabla 15

Dimensionamiento del campo fotovoltaico. Elaboración propia.

EMPLAZAMIENTO INSTALACIÓN	LUGAR	VIVIENDA DE EL CARMEN DE BOLÍVAR
Mes más desfavorable	Mes	Mayo
Horas sol pico mes más desfavorable	HSP	5.16
Temperatura media mensual máxima diurna	°C	42.8
Eficiencia del regulador	%	80
Energía consumo diario	Wh	1678.5
Potencia pico módulos calculada	Ep	407.0
Voltaje batería	V	12

De acuerdo a la información de la **Tabla 15**, la potencia pico requerida es de 407.0

W. De acuerdo a esta información, una instalación fotovoltaica de 500 W con almacenamiento será suficiente para mantener operando el sistema y almacenar energía para los días nublados y lluviosos. A partir de este dato se procedió a buscar un proveedor de kit de paneles fotovoltaicos. La información del kit seleccionado se muestra a continuación en la **Tabla 16**.

Tabla 16*Información kit seleccionado. Elaboración propia.*

MARCA		ECO WORTHY POLICRISTALINO
Tipo		
Voltaje a circuito abierto	Voc	22.41
Voltaje a máxima potencia	Vmp	17.9
Corriente de corto circuito	Isc	6.2
Corriente de potencia máxima	Imp	5.59
Potencia máxima	Pmax	100.061
Coeficiente de temperatura a isc	%/C	0.10+/-0.01
Coeficiente de temperatura a voc	%/C	0.38+/-0.01
Coeficiente de temperatura a pmax	%/C	-0.47
Total de módulos recomendados	Nmod	5
Potencia pico módulos total	Pp total	500.305%
Optimización instalación/necesidades	OPTM	123%
Precio	COP	7'000.000

3.4. Evaluación financiera

3.4.1. Inversión en activos Fijos

En la **Tabla 17**, se presenta el presupuesto de adquisición de equipos y materiales, en el cual se especifica el costo discriminado por subsistemas: Tanque de almacenamiento, sistema de bombeo, sistema de filtración, sistema de suministro energético. De la información de la tabla se observa que el 49.4% del costo de los equipos corresponde al sistema de tratamiento, mientras el 50.6% corresponde al sistema de suministro energético con paneles fotovoltaicos.

Tabla 17

Costo de los componentes del sistema de tratamiento de agua. Elaboración propia.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	SISTEMA DE BOMBEO			
1.1	Electrobomba Superficial Centrífuga 1.5HP Pedrollo	2	\$ 1,140,000.00	\$ 2,280,000.00
1.2	Válvula reguladora de presión hidráulica	1	\$ 241,800	\$ 241,800
2	SISTEMA DE ABLANDAMIENTO			
2.1	Ablandador de agua con resina Vigaflo	1	\$ 900,990.00	\$ 900,990.00
3	SISTEMA DE FILTRACION			
3.1	Tanque en poliglass 9"x48" capacidad de 2pie cúbicos.	1	\$ 930,000.00	\$ 930,000.00
3.2	Válvula automática de retro-lavado capacidad 1gpm.	1	\$ 350,000.00	\$ 350,000.00
3.3	Bolsa de 100kg arena para filtración	1	\$ 114,000.00	\$ 114,000.00
3.4	Bolsa de 100kg de grava granulometría #4-#8	1	\$ 135,000.00	\$ 135,000.00
3.5	Distribuidor tipo canastilla para capacidad de 1gpm	1	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00
3.6	Bolsa de 45kg de carbón activado granular JACOBI	1	\$ 650,000.00	\$ 650,000.00
3.7	Filtro de polipropileno en cartucho spun y carcasa	1	\$ 60,000.00	\$ 60,000.00
3.8	SKID en acero al carbón	1	\$ 300,000.00	\$ 300,000.00
4	SISTEMA DE DESINFECCIÓN			
4.1	Tanque de almacenamiento 500 lt	1	\$ 210,000.00	\$ 210,000.00
4.2	Pipetas de cloro gaseoso	2	\$ 212,000.00	\$ 424,000.00
5	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO			
5.1	Tanque de almacenamiento 500 lt	1	\$ 210,000.00	\$ 210,000.00
6	PANELES SOLARES			
6.1	Kit de energía solar 500W más instalación	1	\$ 7,000,000.00	\$ 7,000,000.00

El alto costo de adquisición de los paneles fotovoltaicos es un factor que impacta significativamente en el costo total del sistema y, como se verá a continuación, en la rentabilidad del mismo. La razón de este alto costo se debe a que es una tecnología que aún se encuentra en desarrollo a pesar de su madurez comercial (Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables. CEMAER (2017). Fabricantes como Panasonic y Kyocera se encuentran trabajando en reducir el costo de paneles y baterías para hacer que esta tecnología sea más competitiva. Panasonic (2017).

Finalmente, al examinar los costos del sistema de tratamiento, se observa que el sistema de filtración tiene la mayor contribución al costo total. Su costo representa un 18.6% del costo total de los equipos, seguido por el sistema de bombeo (18.2%), el sistema de ablandamiento (6.5%), el sistema de desinfección (4.6%), y por último el sistema de almacenamiento (1.5%).

3.4.2. Costos de instalación

3.4.2.1. Instalación y montaje

Para determinar el costo de instalación asociado a mano de obra, se tomó como salario diario de cada operario el salario mínimo legal diario (\$ 26.041) y para el supervisor se tomó dos salarios mínimos legales diarios (\$52.082). La **Tabla 18**, muestra la distribución de los costos de instalación. Al examinar la información de la tabla se observa que los ítems que mayor contribución tienen al costo total de instalación son la ingeniería y supervisión (33%), los equipos para instalaciones eléctricas (28%) y el ítem de instalación y montaje (22%). La contribución de los ítems restantes (tubería y obra civil) no supera el 17%. Es importante anotar que el 49% de los costos de instalación corresponden a mano de obra. Parte de este costo se puede reducir al aprovechar el personal interno de la empresa,

especialmente el relacionado con personal de formación técnica, dedicado típicamente a labores de mantenimiento. Sin embargo, cabe anotar que los costos de instalación son muy reducidos en comparación con los costos de los equipos, puesto que los costos de equipos son 6.7 veces mayor que los costos de instalación. De manera que una reducción en los costos de instalación no afectará significativamente la inversión inicial y la rentabilidad del sistema.

Tabla 18

Costos de instalación. Elaboración propia.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	TUBERIA Y ACCESORIOS			
1.1	Válvula de retención 1/2" Pavco PVC	3	\$ 4,200.00	\$ 12,600.00
1.2	Buje soldado 1/2" a 1"Pavco PVC	4	\$ 1,100.00	\$ 4,400.00
1.3	Codo 90° Pavco PVC.	4	\$ 3,400.00	\$ 13,600.00
1.4	Tubería de 1/2 X 6mt Pavco PVC.	2	\$ 9,900.00	\$ 19,800.00
2	INSTALACIÓN Y MONTAJE			
2.1	Removedor PVC 1/4 galón.	1 und	\$ 34,900.00	\$ 34,900.00
2.2	Soldadura PVC 1/4 galón	1 und	\$ 48,900.00	\$ 48,900.00
2.3	Cinta teflón.	2 und	\$ 1,400.00	\$ 2,800.00
2.4	Hoja de segueta.	1 und	\$ 11,200.00	\$ 11,200.00
2.5	Mano de obra calificada: Nivel técnico (4 técnicos)	4 días	\$ 52,082.00	\$ 208,328.00
2.6	Mano de obra calificada: Nivel profesional (1 profesional)	2 días	\$ 13,020.50	\$ 26,041.00
3	EQUIPOS Y MATERIALES ELÉCTRICOS			
3.1	Cableado Calibre 14 AWG	10 m	\$ 11,000.00	\$ 110,000.00
3.2	Cableado Calibre 11 AWG	10 m	\$ 1,730.00	\$ 17,300.00
3.2	Breaker	2	\$ 26,000.00	\$ 52,000.00
3.3	Conducto metálico	10 m	\$ 13,500.00	\$ 135,000.00
3.4	Tablero	1	\$ 100,000.00	\$ 100,000.00
3.5	Prensa estopa	10	\$ 500.00	\$ 5,000.00
4	INGENIERIA Y SUPERVISIÓN			
4.1	Diseño hidráulico y energético del sistema	20	\$ 25,000.00	\$ 500,000.00
5	TRABAJO CIVIL Y ESTRUCTURAL			
5.1	Transporte, construcción y montaje de estructura de soporte.	3 m2	\$ 50,000.00	\$ 150,000.00

5.2	Perfile angular acero para soporte x 6m	1	\$ 60,000.00	\$	60,000.00
------------	---	---	--------------	----	-----------

3.5. Parámetros de evaluación económica

Los parámetros económicos asumidos en la evaluación económica son:

- El periodo de vida del proyecto es 10 años
- La inflación general promedio de los últimos 5 en Colombia es 4.44%

DANE (2017).

- La tasa de rentabilidad deseada anual es 10% y la tasa de interés del crédito es de 20%.
- La depreciación del equipo es lineal y se proyecta sobre toda la vida útil de los equipos.

Para la evaluación económica se consideran dos escenarios de operación de la planta: El primero, el mantenimiento hidráulico y eléctrico será contratado por una empresa externa, y por lo tanto será una carga presupuestal adicional; el segundo escenario consiste en que el mantenimiento hidráulico y eléctrico será asumido por el servicio de mantenimiento con el que cuenta la empresa. En ambos escenarios se considera que el mantenimiento de la instalación solar fotovoltaica será prestado por un proveedor externo especializado en este tipo de equipos.

En las tablas se identifica como “venta” el ingreso por el ahorro de la electricidad que deja consumirse de la red, y el ahorro de agua que deja de consumirse de la suministrada por el acueducto. Para determinar este ahorro se empleó las ecuaciones () y (). En estas ecuaciones E_{anual} representa la energía suministrada por los paneles fotovoltaicos al sistema, en kWh, en un periodo de un año. C_{kwh} representa el costo del kWh, el cual se

actualiza para cada año de operación teniendo en cuenta la inflación. V_{annual} representa el volumen de agua suministrado por el pozo, en m^3 , en un periodo de un año. C_{m^3} representa el costo del m^3 , el cual se actualiza para cada año de operación teniendo en cuenta la inflación.

$$\text{Ahorro eléctrico} = E_{annual} C_{kwh} \quad (24)$$

$$\text{Ahorro de agua} = V_{annual} C_{m^3} \quad (25)$$

TOTAL EGRESOS	15,357,659.00	528,885.8	555,770.4	583,848.6	613,173.5	643,800.5	675,787.3	709,194.3	744,084.5	780,523.9	818,581.2
FLUJO NETO	-15,357,659.00	600,284.6	623,535.1	647,818.1	673,179.2	699,666.3	727,329.4	756,220.8	786,395.0	817,908.9	850,822.0

Flujos de

Tabla 21

Estado de resultados para la segunda etapa del proyecto. Elaboración propia.

AÑO DE OPERACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VENTAS ANUALES	1,129,170.4	1,179,305.5	1,231,666.7	1,286,352.7	1,343,466.8	1,403,116.7	1,465,415.1	1,530,479.5	1,598,432.8	1,669,403.2
GASTOS DE OPERACIÓN										
Mantenimiento hidráulico y mecánico	60,990.0	63,698.0	66,526.1	69,479.9	72,564.8	75,786.7	79,151.6	82,666.0	86,336.3	90,169.7
Mantenimiento solar	283,158.3	295,730.5	308,861.0	322,574.4	336,896.7	351,854.9	367,477.3	383,793.3	400,833.7	418,630.7
Depreciación Maquinaria	306,490.0	306,490.0	306,490.0	306,490.0	306,490.0	306,490.0	306,490.0	306,490.0	306,490.0	306,490.0
TOTAL GASTOS DE OPERACIÓN	650,638.3	665,918.5	681,877.1	698,544.3	715,951.5	734,131.6	753,118.9	772,949.2	793,660.0	815,290.3
UTILIDAD OPERACIONAL	478,532.1	513,387.0	549,789.6	587,808.4	627,515.3	668,985.1	712,296.2	757,530.3	804,772.8	854,112.9
Gasto financiero	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OTROS INGRESOS Y EGRESOS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	478,532.1	513,387.0	549,789.6	587,808.4	627,515.3	668,985.1	712,296.2	757,530.3	804,772.8	854,112.9
Provisión para impuestos	119,633.0	128,346.8	137,447.4	146,952.1	156,878.8	167,246.3	178,074.0	189,382.6	201,193.2	213,528.2
UTILIDAD NETA ANUAL	358,899.1	385,040.3	412,342.2	440,856.3	470,636.4	501,738.8	534,222.1	568,147.7	603,579.6	640,584.6

Tabla 22

Flujos de caja para la segunda etapa del proyecto. Elaboración propia

AÑO DE OPERACIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
Por ventas		1,129,170.4	1,179,305.5	1,231,666.7	1,286,352.7	1,343,466.8	1,403,116.7	1,465,415.1	1,530,479.5	1,598,432.8	1,669,403.2
TOTAL INGRESOS		1,129,170.4	1,179,305.5	1,231,666.7	1,286,352.7	1,343,466.8	1,403,116.7	1,465,415.1	1,530,479.5	1,598,432.8	1,669,403.2
EGRESOS											
Inversión inicial	15,357,659.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mantenimiento hidráulico y eléctrico		60,990.0	63,698.0	66,526.1	69,479.9	72,564.8	75,786.7	79,151.6	82,666.0	86,336.3	90,169.7
Mantenimiento solar		283,158.3	295,730.5	308,861.0	322,574.4	336,896.7	351,854.9	367,477.3	383,793.3	400,833.7	418,630.7
Gasto financiero		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pago de Impuestos		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL EGRESOS	15,357,659.00	463,781.3	487,775.2	512,834.5	539,006.4	566,340.3	594,887.9	624,702.9	655,841.8	688,363.2	722,328.6
FLUJO NETO	-15,357,659.00	665,389.1	691,530.3	718,832.2	747,346.3	777,126.4	808,228.8	840,712.1	874,637.7	910,069.6	947,074.6

La **Tabla 19** y **Tabla 20**, se muestra el estado de resultados y los flujos de caja del primer escenario, en el cual se considera que el mantenimiento hidráulico y eléctrico sea realizado por personal externo a la empresa. Bajo este escenario se observa que en toda la vida útil del proyecto el ahorro de energía y de agua, alcanza a generar utilidades en el año. Sin embargo, estas utilidades no alcanzan a cubrir los gastos operacionales del mismo debido a que sólo se producen cerca de 407 Wh por año mediante el uso del panel de 500 W.

En vista de la situación descrita en el párrafo anterior, se propone otro escenario en el cual la empresa asume con su personal de planta la mano de obra para el mantenimiento hidráulico y eléctrico, con esto el gasto del mantenimiento hidráulico y eléctrico se reduciría al 5% del costo de inversión en el sistema de bombeo. Se observa que el flujo de caja es positivo, indicando un ahorro anual progresivo en cada año de operación, sin embargo, la TIR de este escenario es de -6.04% indicando que en el tiempo de operación del proyecto no se logra recuperar la inversión inicial de 15,3 millones de pesos colombianos que cuesta el proyecto, aproximadamente.

A partir de los resultados del análisis económico se puede afirmar que se hace necesario analizar las opciones de reducción de los costos de mantenimiento al aprovechar el recurso humano que tenga la empresa para hacer los mantenimientos en la parte eléctrica e hidráulica dado que el mantenimiento de los paneles, el regulador de carga, el inversor y la batería, correspondiente al sistema de alimentación energética lo hace un personal externo.

Por otra parte, se hace incorporar el ahorro en la contabilidad general del proyecto con el fin de incluir los incentivos de la ley 1715 de 2014 por este tipo de inversiones y determinar si es viable financieramente gracias a las deducciones para el impuesto de renta

o bien la depreciación acelerada de los equipos, la cual no puede superar el 20% por año.

En ambos escenarios la depreciación no supera el 5% del valor de los equipos puesto que se cumple con lo dispuesto en la ley 1715 de 2014.

4. Discusión de resultados

Una vez realizada la toma de muestras se procedió a realizar la caracterización físico químico y microbiológico de la fuente hídrica ubicada en el municipio de El Carmen de Bolívar, con el fin de demostrar que este cumple con los estándares mínimos requeridos en la normativa colombiana. Entre las características destacadas se encuentra el hecho que la dureza total del agua se encuentra en 1760 mg/l sobrepasando el valor máximo aceptable establecido por la resolución 2115 de 2007, el cual es de 300 mg/l. Esto nos permitió continuar con la investigación, ya que demuestra la necesidad de implementar un sistema tratamiento donde se incluya principalmente el proceso de ablandamiento. El sistema de tratamiento fue escogido con el objetivo principal de cumplir con la producción de agua para las viviendas en El Carmen de Bolívar de estrato 3, que aún no cuentan con un servicio de agua potable, que según las investigaciones realizadas, gran parte de los barrios que componen este estrato cuentan con este servicio.

El proceso de ablandamiento se realizaría mediante un ablandador con resina Vigaflow, que, de acuerdo con las investigaciones realizadas, presenta un alto porcentaje de remoción de dureza a bajo costo. Además de este proceso el cual es vital implementar dentro del sistema de tratamiento, procedimos a incluir el proceso de filtración por medio de un filtro multimedia y el proceso de desinfección utilizando cloro gaseoso. Esto con el fin de asegurar que el proceso de tratamiento de agua sea óptimo para el consumo humano y se cumpla con los objetivos planteados en este proyecto.

5. Conclusiones

Una vez analizados los resultados obtenidos en esta investigación se logra concluir que el agua del pozo de El Carmen de Bolívar no presenta condiciones para ser consumida por los habitantes del municipio, haciendo necesario la realización del tratamiento propuesto en este proyecto. Debido a que, entre sus características, presenta un alto contenido de dureza, sobrepasando los límites permisibles, establecidos por la norma de calidad de agua.

Se logró seleccionar la tecnología adecuada para el sistema de tratamiento, integrando procesos para el tratado de esta agua, los cuales son, el sistema de ablandamiento, filtración y desinfección. Estos fueron seleccionados de acuerdo al tratamiento que requiere este tipo de agua para que se pueda encontrar en las condiciones óptimas para el consumo de un porcentaje de habitantes en El Carmen de Bolívar, que en este caso, serían 776 habitantes de este municipio, ubicados en las viviendas de estrato 3, de los barrios Los Mangos, Las Mercedes y Siete de Agosto, siendo los únicos barrios de este estrato, que aún no cuentan con este servicio de agua. Estos barrios fueron seleccionados para ser el estudio de nuestro proyecto, debido que se encuentran con mayor posibilidad económica de adquirir este servicio de agua potable a un costo.

Se logró dimensionar el sistema de tratamiento de agua con cada uno de sus procesos, teniendo en cuenta la energía que requiere este mismo. Se tomaron consideraciones con respecto al sistema de tratamiento, para lograr cumplir con uno de nuestros objetivos, el cual es, maximizar la capacidad del sistema y minimizar el consumo energético. Sin embargo, como ya se mencionó, este tipo de energía aún se encuentra en

desarrollo y es muy poco implementada, por lo que los costos de equipos e instalación de paneles solares, se encuentran a un alto costo en el mercado, y es por esta razón que el costo del sistema energético representa el mayor porcentaje en el presupuesto total del proyecto, pero así mismo al verificar los ingresos con los egresos, se demuestra que al pasar los años de operación del sistema genera un flujo neto mayor, lo que permitirá una recuperación de la inversión inicial.

Además, se hace necesario incorporar el ahorro en la contabilidad general del proyecto con el fin de que este tipo de inversiones sean viables financieramente gracias a las deducciones para el impuesto de renta o bien la depreciación acelerada de los equipos, la cual no puede superar el 20% por año, según la ley 1715 de 2014.

6. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio más amplio, donde se proyecte para un porcentaje más alto de la población, donde se utilicen diferentes puntos de captación de agua, es decir, otros pozos, dentro del municipio de El Carmen de Bolívar.
- Se recomienda implementar este tipo de proyectos en zonas donde exista un alto nivel de escasez de agua y/o donde no cuenten con un fácil acceso al agua potable.
- Se recomienda a próximos investigadores, realizar un estudio más amplio en el mercado internacional, para lograr una reducción en los costos de equipos energéticos.

Referencias

A. Arcos. (2010). Consideraciones básicas de ingeniería para el diseño de una planta potabilizadora para cerro colorado con un proceso de nanofiltración. 24/04/2018, de Universidad Nacional Autónoma de México Sitio web:
<file:///C:/Users/laura/Downloads/TESIS%20mexico.pdf>

Aquafil. (2012). Methods of Water Softening. 10/08/2017, de Aquafil Sitio web:
<http://www.aquafil.com.au/methods-of-water-softening/>

Bejan, Tsatsaronis & Moran. (s.f.). *Thermal Analysis and optimization*. Wiley.

Carbotecnia. (2015). Desinfección con cloro. 24/04/2018, de Carbotecnia Sitio web:
<https://www.carbotecnia.info/desinfeccion-con-cloro/>

Charleston Water System. (2014). Types of Water Treatment Systems. 10/08/2017, de Charleston Water System Sitio web: <http://www.charlestonwater.com/149/Water-Treatment>

Gil Knier. (2008). How do Photovoltaics Work?. 10/03/2018, de NASA Sitio web:
<https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>

Humberto Rodriguez Murcia. (2010). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Revista de ingeniería. Universidad de los Andes, 28, 89

IGRAC. (2001). What is Groundwater?. 10/08/2017, de IGRAC International Groundwater Resources Assessment Centre Sitio web: <https://www.un-igrac.org/what-groundwater>

IvyRose Holistic. (2015). Why is water important for life ?. 08/08/2017, de IvyRose Holistic Sitio web: <http://www.ivyroses.com/Biology/Why-is-water-important-to-life.php>

Living Water. (2016). Resina-cationica-suavizacion-agua. 10/03/2018, de Living Water Sitio web: <http://www.living-water.org/id169.htm>

Lucas Alfaro. (2013). Métodos para filtrar el agua potable: Comparación de tecnologías. 23/03/2018, de Marion Kuprat - Agua Viva Sitio web: <http://www.marionkuprat.com/metodos-para-filtrar-el-agua-potable-comparacion-de-tecnologias/>

McCabe W.. (1988) Operaciones Básicas de Ingeniería Química, McGraw Hill, 4a ed

Minvivienda. (2014). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. 24/04/2018, de Ministerio de vivienda, ciudad y territorio Sitio web:
<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO%2030714.pdf>

ONU. (2014). La escasez de agua. 24/04/2018, de ONU Sitio web:
<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

PNUD. (2006). Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua. ONU-Agua, 1, 200.

SEIA. (2011). Photovoltaic (Solar Electric). 10/03/2018, de Solar Energy Industries Association Sitio web: <https://www.seia.org/initiatives/photovoltaic-solar-electric>

USGS. (2015). Water Hardness. 08/08/2017, de The USGS Water Science School Sitio web: <https://water.usgs.gov/edu/hardness.html>

World Water Council. (2016). CLIMATE AND WATER, A PERMANENT INTERCONNECTION. 08/08/2017, de World Water Council Sitio web:

http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/world_water_council/documents/official_documents/Climate_is_water_FLYER.pdf

Tehicú Marín. (2004). Exploración de posibilidades para proponer un tren de tratamiento para remoción de dureza que logre la optimización técnica y económica del proceso. 29/05/2018, de UDLAP Sitio web:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/

Carbotecnia. (2014). Intercambio Iónico. 29/05/2018, de Carbotecnia Sitio web: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/intercambio-ionico/>

Purifier Advisors. (2017). The 3 Best Methods of Water Softening. 29/05/2018, de Purifier Advisors Sitio web: <https://purifieradvisors.com/the-3-best-methods-of-water-softening/>

Lucas Alfaro. (2013). Métodos para filtrar el agua potable: Comparación de tecnologías. 29/05/2018, de Marion Krupat Sitio web: <http://www.marionkuprat.com/metodos-para-filtrar-el-agua-potable-comparacion-de-tecnologias/>

Humberto Rodriguez. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. 29/05/2018, de Scielo Sitio web:

<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12.pdf>

FWS. (2014). ABLANDADOR DE AGUA. 29/05/2018, de Filtomat water systems Sitio web: <https://www.f-w-s.com/sistemas-tratamiento/planta-ablandador-agua-potable.html>

Aguasistec. (2017). Productos de Tratamiento de Agua y Aguas Residuales. 29/05/2018, de Aguasistec Sitio web: <http://www.aguasistec.com/filtro-multimedia.php>

Wiki Water. (2018). EL TRATAMIENTO DEL AGUA POR CLORACIÓN. 29/05/2018, de Wiki Water Sitio web: <https://wikiwater.fr/e18-el-tratamiento-del-agua-por>

Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables - CEMAER, (2017). El mercado de la energía solar. 12/11/2017 de CEMAER.

Heryulimar Gil. (2013). Ingeniería conceptual de una planta de tratamiento para el agua de consumo de la comunidad el Cobre, Estado de Táchira. 23/05/2018, de Universidad Rafael Urdaneta Sitio web: <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2101-13-05655.pdf>

Juan Rojas. (2008). Potabilización de aguas superficiales mediante el proceso de ultrafiltración con membranas arrolladas en espiral. 25/05/2018, de Universidad de Granada
Sitio web: <https://hera.ugr.es/tesisugr/17609513.pdf>

José Hurtado, Kelvin Baron. (2017). Propuesta de tratamiento físico-mecánico de las aguas subterráneas con problemas de dureza del Parque Residencial Puertas del Sol Distrito de la Victoria – Lambayeque. 25/05/2018, de UNIVERSIDAD DE LAMBAYEQUE Sitio web:
<http://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/114/1/TESIS%20%20JOS%C3%89%20AMADOR%20HURTADO%20MUGUERZA.pdf>

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2017). RESOLUCIÓN 330 DE 2017. 25/05/2018, de Alcaldía Mayor de Bogotá Sitio web:
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>

Cardique. (2017). MISIÓN Y VISIÓN. 25/05/2018, de Corporación Autónoma regional del Canal del Dique Sitio web:
<https://cardique.gov.co/corporacion/jurisdicion/ecorregiones/>

Aguas y Aguas. (2014). LEGISLACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA (DECRETO 1575 DE 2007 Y LA RESOLUCIÓN 2115 DE 2007). 25/05/2018, de Aguas y aguas de Pereira Sitio web:

<https://www.aguasyaguas.com.co/calidad.aguasyaguas.com.co/index.php/es/home-es-es/10-contenido/11-legislacion-sobre-la-calidad-del-agua-decreto-1575-de-2007-y-la-resolucion-2115-de-2007>

Caracol. (2018). Desabastecimiento de agua potable y sequía en algunos municipios de Bolívar. 25/05/2018, de Caracol Radio Sitio web:

http://caracol.com.co/emisora/2018/04/11/cartagena/1523467836_644765.html

Energía Solar. (2018). KIT de energía solar. 25/05/2018, de Energía Solar Colombia Sitio web: <http://www.energiasolar.com.co/kit-energia-solar/>

Alcaldía de Bogotá. (2007). RESOLUCION 2115 DE 2007. 25/05/2018, de Alcaldía Mayor de Bogotá Sitio web:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30008>

Anexos

Anexo 1

Tabla 6

CARACTERISTICAS	EXPRESADA COMO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Características físicas		
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2
Conductividad	-	1000 micro siemens/cm
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5 - 9,0
Características químicas que tienen reconocimiento adverso en la salud humana		
Antimonio	Sb	0,02 mg/L
Arsénico	As	0,01 mg/L
Bario	Ba	0,7 mg/L
Cadmio	Cd	0,003 mg/L
Cianuro libre y disociable	CN-	0,05 mg/L
Cobre	Cu	1,0 mg/L
Cromo total	Cr	0,05 mg/L
Mercurio	Hg	0,001 mg/L
Níquel	Ni	0,02 mg/L
Plomo	Pb	0,01 mg/L
Selenio	Se	0,01 mg/L
Trihalometanos Totales	THMs	0,2 mg/L
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01 mg/L
Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana		
Carbono orgánico total	COT	5,0 mg/L
Nitritos	NO-2	0,1 mg/L
nitratos	NO-3	10 mg/L

Fluoruros	F	1,0 mg/L
Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana		
Calcio	Ca	60 mg/L
Alcalinidad total	CaCo3	200 mg/L
Cloruros	cl-	250 mg/L
aluminio	Al3+	0,2 mg/L
Dureza total	Ca Co3	300 mg/L
Hierro total	Fe	0,3 mg/L
Magnesio	Mg	36 mg/L
Manganeso	Mn	0,1 mg/L
Molibdeno	Mo	0,07 mg/L
Sulfatos	SO2-4	250 mg/L
Zinc	Zn	3 mg/L
Fosfatos	Po 3- 4	0,5 mg/L
Características microbiológicas		
Coliformes totales	UFC	0 UFC/100 cm ³
Escherichia coli	UFC	0 UFC/100 cm ³

Normas de calidad de agua potable, según la Resolución 2115/2007. Alcaldía de Bogotá (2007)